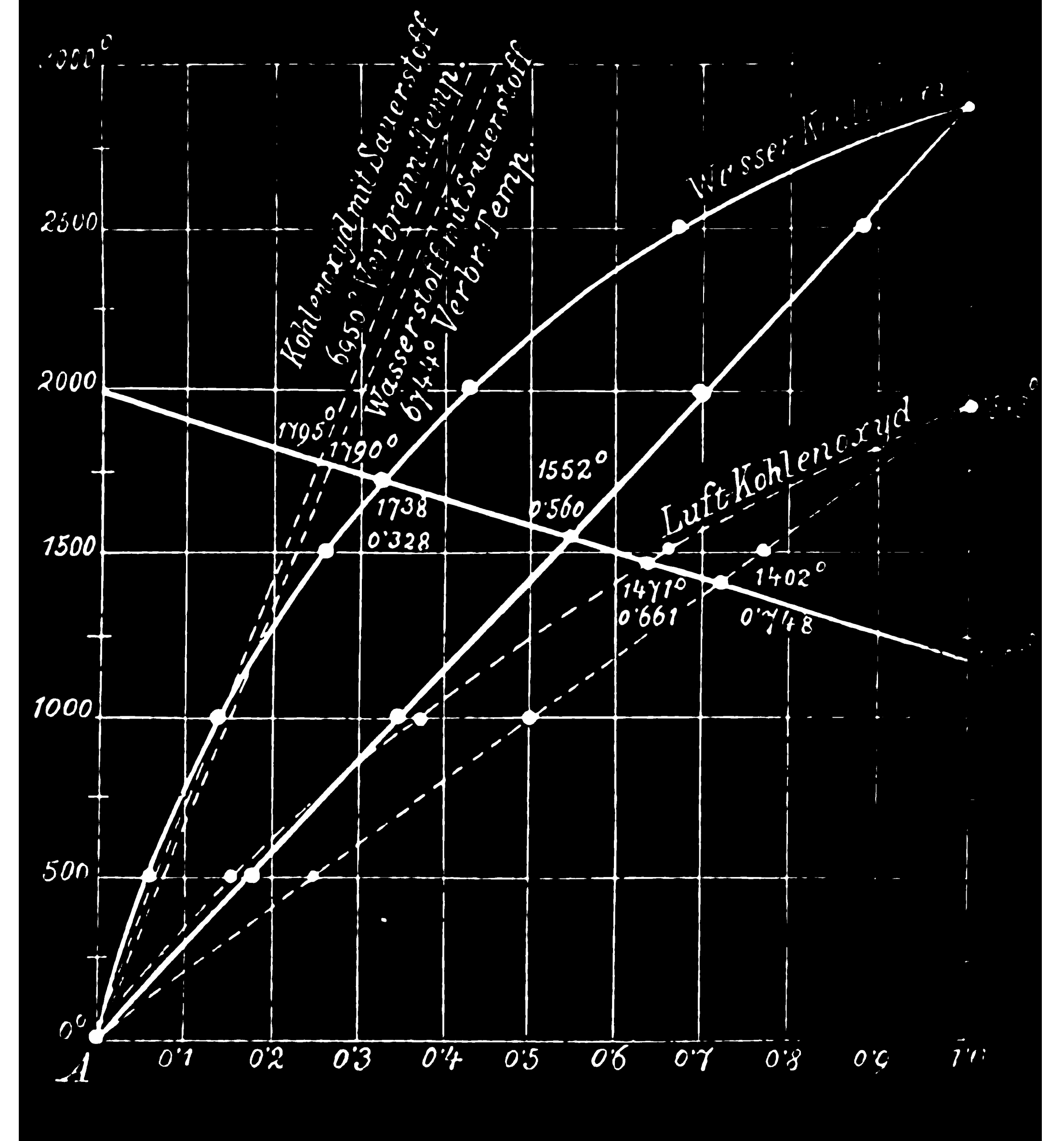
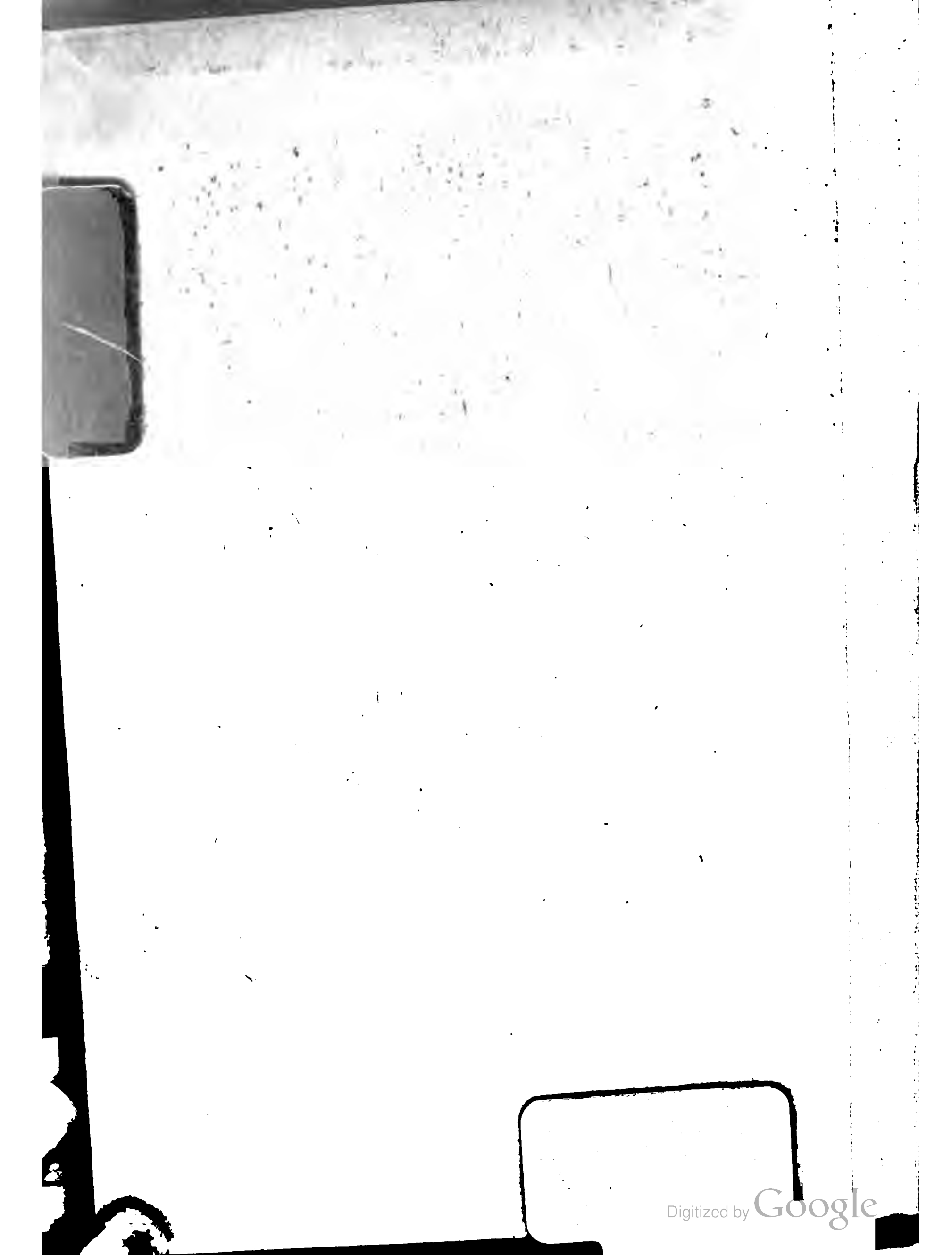
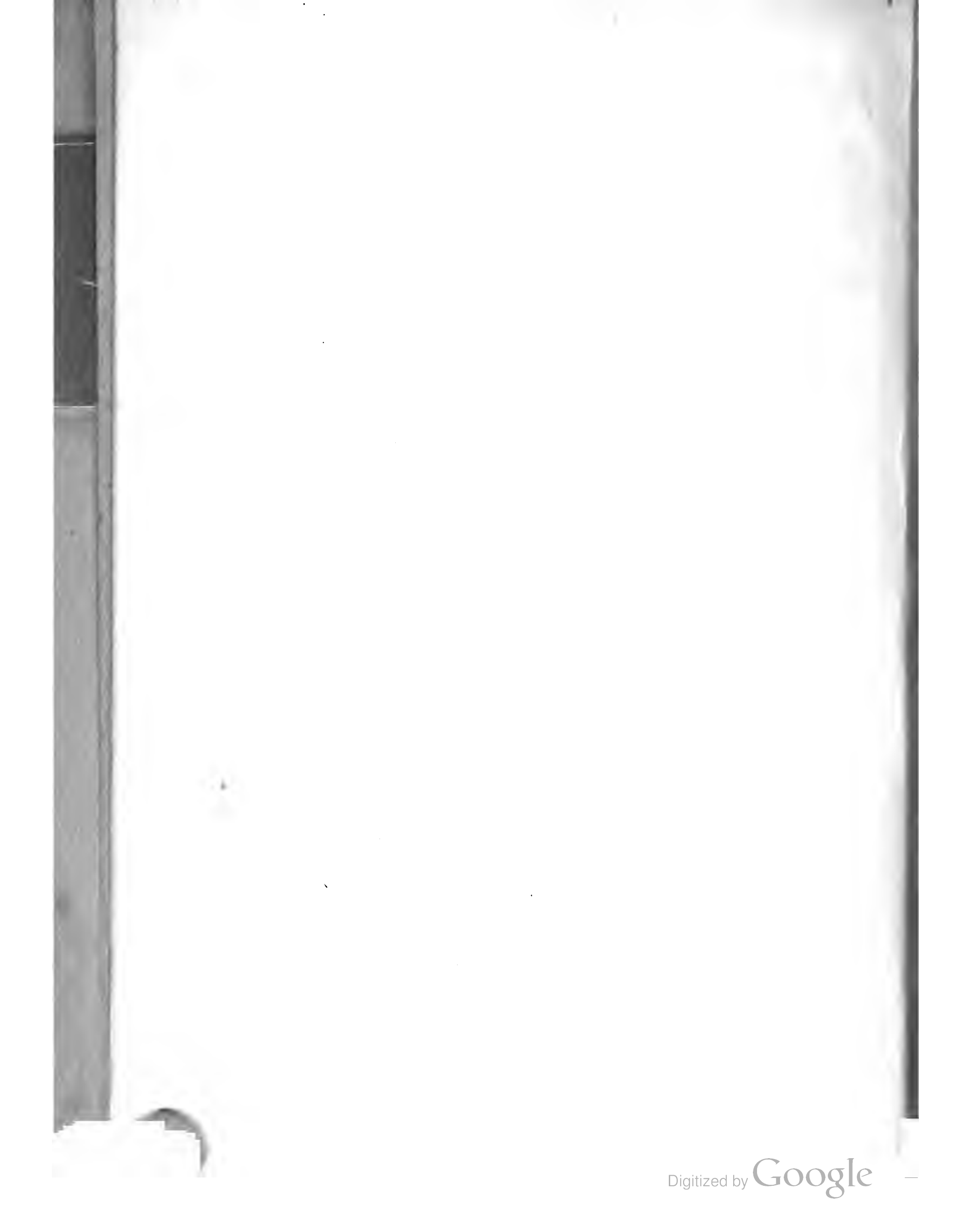


Die Untersuchung von Feuerungs-Anlagen

Hanns von Jüptner







A. Hartleben's

Chemisch-technische

BIBLIOTHEK

Die

Untersuchung

von

Feuerungs-Anlagen.

A. Hartleben's Verlag Wien Pest Leipzig

A. Hartleben's

Chemisch-technische Bibliothek.

In zwanglosen Bänden. — Mit vielen Illustrationen. — Jeder Band einzeln zu haben.

Kein Zweig der menschlichen Thätigkeit hat in einer so kurzen Spanne Zeit so bedeutende, wahrhaft riesige Fortschritte gemacht, wie die chemische Wissenschaft und deren Anwendung auf die Gewerbe — die chemische Technologie; jedes Jahr, ja fast jeder Monat bereichert unser Wissen mit neuen, staunenswerthen Erfindungen auf chemisch-industriellem Gebiete.

Die chemischen Gewerbe haben das Eigenthümliche, daß sie ein viel rascheres Umsetzen des Capitals gestatten, als die mechanischen; während es bei diesen oft Monate lang dauert, bis das Object verkaufsfähig wird, verwandelt der Industrielle auf chemischem Wege sein Rohmaterial in wenigen Tagen, oft selbst in wenigen Stunden in fertige Handelswaare. Wir erinnern hier nur an die Seifen-Fabrikation, die Fabrikation der Parfümerien, der Stärke, des Leimes, die Branntweinbrennerei, Essig-Fabrikation, Bierbrauerei u. s. w.

Die chemisch-technische Literatur hat aber im Großen und Ganzen nicht mit den Fortschritten der Technik gleichen Schritt gehalten; wir besitzen zwar treffliche Quellenwerke, welche aber vom allgemein wissenschaftlichen Standpunkte gehalten, dem praktischen Fabrikanten in der Regel nicht das bieten, was für ihn Bedürfniß ist: ein compendiös abgefaßtes Handbuch, in welchem frei von allem überflüssigen Beiwerke die Fabrikation der betreffenden Producte in klarer, leicht faßlicher, wahrhaft populärer Weise dargestellt ist und den neuesten Erfindungen und Erfahrungen entsprechend Rechnung getragen wird.

Die Mehrzahl der chemisch-technischen Specialwerke, welche unsere Literatur besitzt, datirt meist aus älterer Zeit, oder sind von bloßen Theoretikern verfaßt, denen die Kenntniß der praktischen Fortschritte auf chemisch-technischem Gebiete mangelt.

Eine neue Zeit fordert neue Bücher. — In Erwägung der vorstehenden Thatsachen ist die gefertigte Verlagshandlung seit einer Reihe von Jahren thätig, im Vereine mit einer großen Anzahl der eminentesten Fachmänner und treu in ihrer Richtung: die Industrie durch Herausgabe wahrhaft populärer technischer Werke zu unterstützen, die **Chemisch-technische Bibliothe[k]** zu einer alle Gebiete der menschlichen Arbeit umfassenden Encyklopädie zu gestalten, in welche nach und nach alle Zweige der chemischen Industrie aufgenommen werden sollen. — Die Bearbeitung jedes Fabrikationszweiges liegt in den Händen solcher Männer, welche durch ihre reichen wissenschaftlichen Erfahrungen, sowie durch ihre bisherigen literarischen Leistungen die sichere Bürgschaft dafür geben, daß ihre Werke das Beste bieten, das auf diesem Gebiete gefordert werden kann.

Daß der von der unterzeichneten Verlagshandlung eingeschlagene We[g] der Herausgabe einer chemisch-technischen Bibliothek der richtige sei, wird durc[h] die ausnahmslos höchst günstigen Besprechungen der bisher erschienene[n] 180 Bände der »Chemisch-technischen Bibliothek« in den verschiedensten technische[n] und wissenschaftlichen Blättern des In- und Auslandes verbürgt.

Mitarbeiter für unsere »Chemisch-technische Bibliothek« sind uns stet[s] willkommen.

Möge das Unternehmen dem allgemeinen Wohle jenen Nutzen [br]inge[n], welchen die Schöpfer desselben als erstrebenswerthes Ziel im Au[ge] [ge]haben.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

X. Band. **Die Essigfabrikation.** Eine Darstellung der Essigfabrikation nach den ältesten und neueren Verfahrungsweisen, der Schnell-Essigfabrikation, der Bereitung von Eisessig und reiner Essigsäure aus Holzessig, sowie der Fabrikation des Wein-, Trestern-, Malz-, Bieressigs und der aromatischen Essigsorten, nebst der praktischen Prüfung des Essigs. Von Dr. Josef Bersch. Dritte, erweiterte und verbesserte Aufl. Mit 17 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XI. Band. **Die Feuerwerkerei oder die Fabrikation der Feuerwerkskörper.** Eine Darstellung der gesammten Pyrotechnik, enthaltend die vorzüglichsten Vorschriften zur Anfertigung sämmtlicher Feuerwerksobjecte, als aller Arten von Leuchtfeuern, Sternen, Leuchtkugeln, Raketen, der Luft- und Wasser-Feuerwerke, sowie einen Abriß der für den Feuerwerker wichtigen Grundlehren der Chemie. Von Aug. Eschenbacher. Zweite, sehr vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 49 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XII. Band. **Die Meerschaum- und Bernsteinwaaren-Fabrikation.** Mit einem Anhange über die Erzeugung hölzerner Pfeifenköpfe. Enthaltend: Die Fabrikation der Pfeifen und Cigarrenspitzen; die Verwerthung der Meerschaum- und Bernstein-Abfälle, Erzeugung von Kunstmeerschaum (Masse oder Massa), künstlichem Elfenbein, künstlicher Schmucksteine auf chemischem Wege; die zweckmäßigsten und nöthigsten Werkzeuge, Geräthschaften, Vorrichtungen und Hilfsstoffe. Ferner die Erzeugung der Oelköpfe, geflammter, gesprengelter und Ruhlaer Waare. Endlich die Erzeugung der Holzpfeifen, hierzu dienliche Holzarten, deren Färben, Beizen, Poliren u. dgl. Von E. M. Raufer. Mit 5 Tafeln Abbildungen. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

XIII. Band. **Die Fabrikation der ätherischen Oele.** Anleitung zur Darstellung derselben nach den Methoden der Pressung, Destillation, Extraction, Deplacirung, Maceration und Absorption, nebst einer ausführlichen Beschreibung aller bekannten ätherischen Oele in Bezug auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften und technische Verwendung, sowie der besten Verfahrungsarten zur Prüfung der ätherischen Oele auf ihre Reinheit. Von Dr. chem. George William Askinson, Verfasser des Werkes: Die Parfumerie-Fabrikation. 2. verbesserte und vermehrte Aufl. Mit 36 Abbild. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XIV. Band. **Die Photographie oder die Anfertigung von bildlichen Darstellungen auf künstlichem Wege.** Als Lehr- u. Handb. v. prakt. Seite bearb. u. herausg. v. Jul. Krüger. M. 41 Abbild. 37 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl. = 7 M. 20 Pf.

XV. Band. **Die Leim- und Gelatine-Fabrikation.** Eine auf prakt. Erfahr. begründ. gemeinverständl. Darstell. dieses Industriezw. in s. ganz. Umfange. Von F. Dawidowsky. 2. Aufl. Mit 27 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 M.

XVI. Band. **Die Stärke-Fabrikation und die Fabrikation des Traubenzuckers.** Eine populäre Darstellung der Fabrikation aller im Handel vorkommenden Stärkesorten, als der Kartoffel-, Weizen-, Mais-, Reis-, Arrow-root-Stärke, der Tapioca u. s. w.; der Wasch- und Toilettestärke und des künstlichen Sago, sowie der Verwerthung aller bei der Stärke-Fabrikation sich ergebenden Abfälle, namentlich des Klebers und der Fabrikation des Dextrins, Stärkegummis, Traubenzuckers, Kartoffelmehles und der Zucker-Couleur. Ein Handbuch für Stärke- und Traubenzucker-Fabrikanten, sowie für Oekonomie-Besitzer und Branntweinbrenner. Von Felix Rehwald, Stärke- und Traubenzucker-Fabrikant. Zweite, sehr vermehrte u. verbesserte Aufl. Mit 28 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XVII. Band. **Die Tinten-Fabrikation** u. die Herstellung der Hektographen und Hektographi tinten, die Fabrikation der Tusche, der Tintenstifte, der Stempeldruckfarben sowie d. Waschblaues. Ausführl. Darstellung der Anfertigung aller Schreib-, Comptoir-, Copir- u. Hektographirtinten, aller farbigen und sympathetischen Tinten, d. chinesischen Tusche, lithographischen Stifte u. Tinten, unauslöschl. Tinten z. Zeichnen d. Wäsche, d. Hektographirmassen, sw. z. Ausführung v. Schriften a. jedem beliebigen Materiale, d. Bereit. d. besten Waschblaues u. d. Stempeldruckfarben. Nebst e. Anleit. z. Lesbarmachen alter Schriften. Nach eig. Erfahr. dargest. v. Sigmund Lehner, Chem. u. Fabrik. 4. Aufl. M. erläut. Abb. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 M.

XVIII. Band. **Die Fabrikation der Schmiermittel, der Schuhwichse und Lederschmiere.** Darstellung aller bekannten Schmiermittel, als: Wagenschmiere, Maschinenschmiere, der Schmieröle f. Näh- u. andere Arbeitsmaschinen u. der Mineralschmieröle, Uhrmacheröle, ferner der Schuhwichse, Lederlacke, des Dégras u. Lederschmiere f. alle Gattungen von Leder Von Rich. Brunner, techn. Chemik. 4. Aufl. Mit 5 erläuternden Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 20 kr. = 2 M. 25 Pf.

XIX. Band. **Die Lohgerberei oder die Fabrikation des lohgaren Leders.** Ein Handbuch für Leder-Fabrikanten. Enthaltend die ausführliche Darstellung der Fabrikation des lohgaren Leders nach dem gewöhnlichen und Schnellgerbe-Verfahren und der Metallsalz-Gerberei; nebst der Anleitung zur Herstellung aller Gattungen Maschinenriemen-Leder, des Juchten-, Saffian-, Corduan-, Chagrin- und Lackleders, sowie zur Verwerthung der Abfälle, welche sich in Lederfabriken ergeben. Von Ferdinand Wiener, Leder-Fabrikant. 2. sehr vermehrte und verbesserte Aufl. Mit 48 Abbild. 37 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl. = 7 M. 20 Pf.

XX. Band. **Die Weißgerberei, Sämischgerberei und Pergament-Fabrikation.** Ein Handbuch für Leder-Fabrikanten. Enthaltend die ausführliche Darstellung der Fabrikation des weißgaren Leders nach allen Verfahrungsweisen, des Glaceleders, Seifenleders u. s. w.; der Sämischgerberei, der Fabrikation des Pergaments und der Lederfärberei, mit besonderer Berücksichtigung der neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Lederindustrie. Von Ferdinand Wiener, Leder-Fabrikant. Mit 20 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

XXI. Band. **Die chemische Bearbeitung der Schafwolle** oder das Ganze der Färberei von Wolle und wollenen Gespinnsten. Ein Hilfs- u. Lehrbuch für Färber, Färberei-Techniker, Tuch- u. Garn-Fabrikanten u. Solche, die es werden wollen. Dem heutigen Standpunkte der Wissenschaft entsprechend u. auf Grund eigener langjähr. Erfahrungen im In- u. Auslande vorzugsweise praktisch dargestellt. Von Victor Joclét, Färber u. Fabriks-Dirigent. Mit 29 Abb. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mk.

XXII. Band. **Das Gesammtgebiet des Lichtdrucks,** die Emailphotographie, und anderweitige Vorschriften zur Umkehrung der negativen und positiven Glasbilder. Bearbeitet von J. Husnik, k. k. Professor in Prag. Dritte Auflage. Mit 38 Abbild. u. 3 Illustrationsbeilagen. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XXIII. Band. **Die Fabrikation der Conserven und Canditen.** Vollständige Darstellung aller Verfahren der Conservirung für Fleisch, Früchte, Gemüse, der Trockenfrüchte, der getrockneten Gemüse, Marmeladen, Fruchtsäfte u. s. w. und der Fabrikation aller Arten von Canditen, als: candirter Früchte, der verschiedenen Bonbons, der Rocks-Drops, der Dragées, Pralinées 2c. Von A. Hausner. 2. verbesserte und vermehrte Aufl. Mit 27 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

XXIV. Band. **Die Fabrikation des Surrogatkaffees und des Tafelsenfes.** Enthaltend: Die ausführliche Beschreibung der Zubereitung des Kaffees und seiner Bestandtheile; der Darstellung der Kaffee-Surrogate aus allen hierzu verwendeten Materialien und die Fabrikation aller Gattungen Tafelsenf. Von Karl Lehmann. Mit 9 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

XXV. Band. **Die Kitte und Klebemittel.** Ausführliche Anleitung zur Darstellung aller Arten von Kitten und Klebemitteln für Glas Porzellan, Metalle, Leder, Eisen, Stein, Holz, Wasserleitungs- und Dampfröhren, sowie der Oel-, Harz-, Kautschuk-, Guttapercha-, Caseïn-, Leim-, Wasserglas-, Glycerin-, Kalk-, Gyps-, Eisen- und Zink-Kitte, des Marine-Leims, der Zahnkitte, Zeiodeliths und der zu speciellen Zwecken dienenden Kitte und Klebemittel. Von Sigmund Lehner. Dritte, sehr verm. u. verb. Aufl. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

XXVI. Band. **Die Fabrikation der Knochenkohle und des Thieröles.** Eine Anleitung zur rationellen Darstellung der Knochenkohle oder des Spodiums und der plastischen Kohle, der Verwerthung aller sich hierbei ergebenden Nebenproducte und zur Wiederbelebung der gebrauchten Knochenkohle. Von Wilhelm Friedberg, technischer Chemiker. Mit 13 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XXVII. Band. **Die Verwerthung der Weinrückstände.** Praktische Anleitung zur rationellen Verwerthung von Weintrester, Weinhefe (Weinlager, Geläger und Weinstein. Mit einem Anhang: Die Erzeugung von Weinsprit und Cognac aus Wein. Handbuch für Weinproducenten, Weinhändler, Brennerei-Techniker, Fabrikanten chemischer Producte u. Chemiker. Gemeinverständlich dargestellt von Antonio dal Piaz, techn. Chemiker. 2. Aufl. Mit 23 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XXVIII. Band. **Die Alkalien.** Darstellung der Fabrikation der gebräuchlichsten Kali- und Natron-Verbindungen, der Soda, Potasche, des Salzes, Salpeters, Glaubersalzes, Wasserglases, Chromkalis, Blutlaugensalzes, Weinsteins, Laugensteins u. s. f., deren Anwendung und Prüfung. Ein Handbuch für Färber, Bleicher, Seifensieder, Fabrikanten von Glas, Zündwaaren, Lauge, Papier, Farben, überhaupt von chemischen Producten, für Apotheker und Droguisten. Von Dr. S. Pick, Fabriksbesitzer. Mit 24 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

XXIX. Band. **Die Bronzewaaren-Fabrikation.** Anleitung zur Fabrikation von Bronzewaaren aller Art, Darstellung ihres Gusses und Behandelns nach demselben, ihrer Färbung und Vergoldung, des Bronzirens überhaupt nach den älteren sowie bis zu den neuesten Verfahrungsweisen. Von Ludwig Müller, Metallwaaren-Fabrikant. Mit 25 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XXX. Band. **Vollständiges Handbuch der Bleichkunst** oder theoretische und praktische Anleitung zum Bleichen der Baumwolle, des Flachses, des Hanfes, der Wolle und Seide, sowie der daraus gesponnenen Garne und gewebten oder gewirkten Zeuge. Nebst einem Anhange über zweckmäßiges Bleichen der Hadern, des Papieres, der Wasch- und Badeschwämme, des Strohes und Wachses 2c. Nach den neuesten Erfahrungen durchgängig praktisch bearbeitet von Victor Joclét. Mit 30 Abbild. und 2 Tafeln. 24 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

XXXI. Band. **Die Fabrikation von Kunstbutter, Sparbutter und Butterine.** Eine Darstellung der Bereitung der Ersatzmittel der echten Butter nach den besten Methoden. Allgemein verständlich geschildert von Victor Lang. Zweite vermehrte Aufl. Mit 14 Abbild. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

XXXII. Band. **Die Natur der Ziegelthone und die Ziegel-Fabrikation der Gegenwart.** Handbuch für technische Chemiker, Ziegeltechniker, Bau- und Maschinen-Ingenieure 2c. 2c. Von Dr. Hermann Zwick. Mit 123 Abbild. und 2 Tafeln. 38 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl. 60 kr. = 8 M. 80 Pf.

XXXIII. Band. **Die Fabrikation der Mineral- und Lackfarben.** Enthaltend: Die Anleitung zur Darstellung aller künstlichen Maler- und Anstreicherfarben, der Email- und Metallfarben. Ein Handbuch für Fabrikanten, Farbwaarenhändler, Maler und Anstreicher. Dem neuesten Stande der Wissenschaft entsprechend dargestellt von Dr. Josef Bersch. Mit 19 Abbild. 41 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl. 20 kr. = 7 M. 60 Pf.

XXXIV. Band. **Die künstlichen Düngemittel.** Darstellung der Fabrikation des Knochen-, Horn-, Blut-, Fleisch-Mehls, der Kalidünger, des schwefelsauren Ammoniaks, der verschiedenen Arten Superphosphate, der Poudrette u. s. f., sowie Beschreibung des natürlichen Vorkommens der concentrirten Düngemittel. Ein Handbuch für Fabrikanten künstlicher Düngemittel, Landwirthe, Zucker-Fabrikanten, Gewerbetreibende und Kaufleute. Von Dr. S. Pick, Fabrikant chemischer Producte. Zweite verm. Auflage. Mit 25 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

XXXV. Band. **Die Zinkogravure** oder das Aetzen in Zink zur Herstellung von Druckplatten aller Art, nebst Anleitung zum Aetzen in Kupfer, Messing, Stahl und andere Metalle. Auf Grund eigener praktischer, vieljähriger Erfahrungen bearbeitet und herausgegeben von Julius Krüger. Zweite Auflage. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XXXVI. Band. **Medicinische Specialitäten.** Eine Sammlung aller bis jetzt bekannten und untersuchten medicinischen Geheimmittel mit Angabe ihrer Zusammensetzung nach den bewährtesten Chemikern. Gruppenweise zusammengestellt von C. F. Capaun-Karlowa, Apotheker. Zweite, vielfach vermehrte Auflage. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

XXXVII. Band. **Die Colorie der Baumwolle auf Garne und Gewebe mit besonderer Berücksichtigung der Türkischroth-Färberei.** Ein Lehr- und Handbuch für Interessenten dieser Branchen. Nach eigenen praktischen Erfahrungen zusammengestellt von Carl Romen, Director der Möllersdorfer Färberei, Bleicherei und Appretur. Mit 6 Abbild. 24 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 M.

XXXVIII. Band. **Die Galvanoplastik.** Ausführliche praktische Darstellung des galvanoplastischen Verfahrens in allen seinen Einzelheiten. In leichtfaßlicher Weise bearbeitet von Julius Weiß. Dritte Aufl. Mit 48 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XXXIX. Band. **Die Weinbereitung und Kellerwirthschaft.** Populäres Handbuch für Weinproducenten, Weinhändler und Kellermeister. Gemeinverständlich dargestellt auf Grundlage der neuesten wissenschaftlichen Forschungen der berühmtesten Oenologen und eigenen langjährigen praktischen Erfahrungen von Antonio dal Piaz. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 31 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XL. Band. **Die technische Verwerthung des Steinkohlentheers,** nebst einem Anhange: Ueber die Darstellung des natürlichen Asphalttheers und Asphaltmastix aus den Asphaltsteinen und bituminösen Schiefern und Verwerthung der Nebenproducte. Von Dr. Georg Thenius, technischer Chemiker. Mit 20 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XLI. Band. **Die Fabrikation der Erdfarben.** Enthaltend: Die Beschreibung aller natürlich vorkommenden Erdfarben, deren Gewinnung und Zubereitung. Handbuch für Farben-Fabrikanten, Maler, Zimmermaler, Anstreicher und Farbwaaren-Händler. Von Dr. Jos. Bersch. Mit 14 Abb. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XLII. Band. **Desinfectionsmittel** oder Anleitung zur Anwendung der praktischesten und besten Desinfectionsmittel, um Wohnräume, Krankensäle, Stallungen, Transportmittel, Leichenkammern, Schlachtfelder u. s. w. zu desinficiren. Von Wilhelm Heckenast. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

XLIII. Band. **Die Heliographie,** oder: Eine Anleitung zur Herstellung druckbarer Metallplatten aller Art, sowohl für Halbtöne als auch für Strich- und Kornmanier, ferner die neuesten Fortschritte im Pigmentdruck und Woodbury-Verfahren (oder Reliefdruck), nebst anderweitigen Vorschriften. Bearbeitet von J. Husnik, k. k. Professor in Prag. Zweite, vollständig neu bearbeitete Auflage. Mit 6 Illustrationen und 5 Tafeln. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

XLIV. Band. **Die Fabrikation der Anilinfarbstoffe** und aller anderen aus dem Theere darstellbaren Farbstoffe (Phenyl-, Naphthalin-, Anthracen- und Resorcin-Farbstoffe) u. deren Anwendung in der Industrie. Bearbeitet von Dr. Josef Bersch. Mit 15 Abbild. 34 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 60 kr. = 6 M. 50 Pf.

XLV. Band. **Chemisch-technische Specialitäten und Geheimnisse,** mit Angabe ihrer Zusamm. nstell. nach d. bewährt. Chemikern. Alphab. zusammengest. v. C. F. Capaun-Karlowa, Apoth. 2. Aufl. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. — M. 2.50.

XLVI. Band. **Die Woll- und Seidendruckerei in ihrem ganzen Umfange.** Ein prakt. Hand- u. Lehrbuch für Druck-Fabrikanten, Färber u. techn. Chemiker. Enthaltend: das Drucken der Wollen-, Halbwollen- u. Halbseidenstoffe, der Wollengarne u. seidenen Zeuge. Unter Berücksichtigung d. neuesten Erfind. u. unter Zugrundelegung langj. prakt. Erfahrung. Bearb. v. Vict. Joclét, techn. Chemiker. Mit 54 Abbild. u. 4 Taf. 37 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 60 kr. = 6 M. 50 Pf.

XLVII. Band. **Die Fabrikation des Rübenzuckers,** enthaltend: Die Erzeugung des Brotzuckers, des Rohzuckers, die Herstellung von Raffinad- und Candiszucker nebst einem Anhange über die Verwerthung der Nachproducte und Abfälle ꝛc. Zum Gebrauche als Lehr- und Handbuch leichtfaßlich dargestellt von Richard v. Regner, Chemiker. Mit 21 erläuternden Abbild. 14 Bog. 8. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XLVIII. Band. **Farbenlehre.** Für die praktische Anwendung in den verschied. Gewerben und in der Kunstindustrie, bearb. von Alwin v. Wouwermans. Mit 7 Abbild. und 6 Farbtafeln. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 20 kr. = 2 M. 25 Pf.

IL. Band. **Vollständige Anleitung zum Formen und Gießen** oder genaue Beschreibung aller in den Künsten und Gewerben dafür angewandten Materialien, als: Gyps, Wachs, Schwefel, Leim, Harz, Guttapercha, Thon, Lehm, Sand und deren Behandlung behufs Darstellung von Gypsfiguren, Stuccatur-, Thon-, Cement- und Steingut-Waaren, sowie beim Guß von Statuen, Glocken und den in der Messing-, Zink-, Blei- und Eisengießerei vorkommenden Gegenständen. Von Eduard Uhlenhuth. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 17 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

L. Band. **Die Bereitung der Schaumweine.** Mit besonderer Berücksichtigung der französischen Champagner-Fabrikation. Genaue Anweisung und Erläuterung der vollständigen rationellen Fabrikationsweise aller moussirenden Weine und Champagner. Mit Benützung des Robinet'schen Werkes, auf Grund eigener praktischer Erfahrungen und wissenschaftlicher Kenntnisse dargestellt und erläutert von A. v. Regner. Mit 28 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LI. Band. **Kalk und Luftmörtel.** Auftreten und Natur des Kalksteines, das Brennen desselben und seine Anwendung zu Luftmörtel. Nach gegenwärtigem Stande der Theorie und Praxis dargestellt von Dr. Hermann Zwick. Mit 30 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LII. Band. **Die Legirungen.** Handbuch für Praktiker. Enthaltend: Die Darstellung sämmtlicher Legirungen, Amalgame und Lothe für die Zwecke aller Metallarbeiter, insbesondere für Erzgießer, Glockengießer, Bronzearbeiter, Gürtler, Sporer, Klempner, Gold- und Silberarbeiter, Mechaniker, Techniker u. s. w. Von A. Krupp. Mit 11 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LIII. Band. **Unsere Lebensmittel.** Eine Anleitung zur Kenntniß der vorzüglichsten Nahrungs- und Genußmittel, deren Vorkommen und Beschaffenheit in gutem und schlechtem Zustande, sowie ihre Verfälschungen und deren Erkennung. Von C. F. Capaun-Karlowa. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

LIV. Band. **Die Photokeramik,** das ist die Kunst, photogr. Bilder auf Porzellan, Email, Glas, Metall u. s. w. einzubrennen. Als Lehr- u. Handbuch nach eig. Erfahrungen u. mit Benützung der besten Quellen, bearbeitet u. herausg. von Jul. Krüger. Mit 19 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

LV. Band. **Die Harze und ihre Producte.** Deren Abstammung, Gewinnung und technische Verwerthung. Nebst einem Anhang: Ueber die Producte der trockenen Destillation des Harzes oder Colophoniums; das Camphin, das schwere Harzöl, das Codöl, u. die Bereitung v. Wagenfetten, Maschinenölen ꝛc. aus den schweren Harzölen, sowie die Verwendung derselben zur Leuchtgas-Erzeugung. Ein Handb. für Fabrikanten, Techniker, Chemiker, Droguisten, Apotheker, Wagenfett-Fabrikanten u. Brauer. Nach den neuest. Forschungen u. auf Grundl. langj. Erfahr. zusammengest. v. Dr. G. Thenius. M. 40 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = M. 3.25.

LVI. Band. **Die Mineralsäuren.** Nebst einem Anhang: Der Chlorkalk und die Ammoniak-Verbindungen. Darstellung der Fabrikation von schwefliger Säure, Schwefel-, Salz-, Salpeter-, Kohlen-, Arsen-, Bor-, Phosphor-, Blausäure, Chlorkalk und Ammoniaksalzen, deren Untersuchung und Anwendung. Ein Handbuch für Apotheker, Droguisten, Färber, Bleicher, Fabrikanten von Farben, Zucker, Papier, Düngemittel, chemischen Producten, für Gastechniker u. s. f. Von Dr. S. Pick, Fabriksdirector. Mit 27 Abbild. 26 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LVII. Band. **Wasser und Eis.** Eine Darstellung der Eigenschaften, Anwendung und Reinigung des Wassers für industrielle und häusliche Zwecke und der Aufbewahrung, Benützung und künstlichen Darstellung des Eises. Für Praktiker bearbeitet von Friedrich Ritter. Mit 35 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

LVIII. Band. **Hydraulischer Kalk u. Portland-Cement** nach Rohmaterialien, physikalischen u. chemischen Eigenschaften, Untersuchung, Fabrikation u. Werthstellung unter besonderer Rücksicht auf den gegenwärtigen Stand der Cement-Industrie. Bearbeitet v. Dr. H. Zwick. 28 Abb. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LIX. Band. **Die Glasätzerei für Tafel- und Hohlglas, Hell- und Mattätzerei in ihrem ganzen Umfange.** Alle bisher bekannten und viele neue Verfahren enthaltend; mit besonderer Berücksichtigung der Monumental-Glasätzerei. Leichtfaßlich dargest. m. genauer Angabe aller erforderlichen Hilfsmittel v. J. B. Miller, Glastech. Zweite Aufl.. Mit 18 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LX. Band. **Die explosiven Stoffe**, ihre Geschichte, Fabrikation, Eigenschaften, Prüfung und praktische Anwendung in der Sprengtechnik. Mit einem Anhange, enthaltend: Die Hilfsmittel der submarinen Sprengtechnik (Torpedos und Seeminen). Bearbeitet nach den neuesten wissenschaftlichen Erfahrungen von Dr. Fr. Böckmann, techn. Chemiker. Mit 31 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LXI. Band. **Handbuch der rationellen Verwerthung, Wiedergewinnung und Verarbeitung von Abfallstoffen jeder Art.** Von Dr. Theodor Koller. Mit 22 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

LXII. Band. **Kautschuk und Guttapercha.** Eine Darstellung der Eigenschaften und der Verarbeitung des Kautschuks und der Guttapercha auf fabriksmäßigem Wege, der Fabrikation des vulcanisirten und gehärteten Kautschuks, der Kautschuk- und Guttapercha-Compositionen, der wasserdichten Stoffe, elastischen Gewebe u. s. w. Für die Praxis bearbeitet von Raimund Hoffer. Mit 8 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXIII. Band. **Die Kunst- und Feinwäscherei in ihrem ganzen Umfange.** Enthaltend: Die chemische Wäsche, Fleckenreinigungskunst, Kunstwäscherei, Hauswäscherei, die Strohhut-Bleicherei und Färberei, Handschuh-Wäscherei und Färberei 2c. Von Victor Joclét. Zweite Auflage. Mit 18 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXIV. Band. **Grundzüge der Chemie in ihrer Anwendung auf das praktische Leben.** Für Gewerbetreibende und Industrielle im Allgemeinen, sowie für jeden Gebildeten. Bearbeitet von Dr. Willibald Artus, Professor in Jena. Mit 24 Abbild. 34 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

LXV. Band. **Die Fabrikation der Emaille und das Emailliren.** Anleitung zur Darstellung aller Arten Emaille für technische und künstlerische Zwecke und zur Vornahme des Emaillirens auf praktischem Wege. Für Emaillefabrikanten, Gold- und Metallarbeiter und Kunstindustrielle. Von Paul Randau, technischer Chemiker. 2. Aufl. Mit 14 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXVI. Band. **Die Glas-Fabrikation.** Eine übersichtliche Darstellung der gesammten Glasindustrie mit vollständiger Anleitung zur Herstellung aller Sorten von Glas und Glaswaaren. Zum Gebrauche für Glasfabrikanten und Gewerbetreibende aller verwandten Branchen auf Grund praktischer Erfahrungen und der neuesten Fortschritte bearbeitet von Raimund Gerner, Glasfabrikant. Mit 50 Abbild. 23 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LXVII. Band. **Das Holz und seine Destillations-Producte.** Ueber die Abstammung und das Vorkommen der verschiedenen Hölzer. Ueber Holz, Holzschleifstoff, Holzcellulose, Holzimprägnirung u. Holzconservirung, Meiler- u. Retorten Verkohlung, Holzessig u. seine techn. Verbareitung, Holztheer u. seine Destillationsproducte, Holztheerpech u. Holzkohlen nebst einem Anhange: Ueber Gaserzeugung aus Holz. Ein Handbuch f. Waldbesitzer, Forstbeamte, Lehrer, Chem., Techn. u. Ingenieure, nach den neuesten Erfahrungen praktisch u. wissensch. bearbeitet v. Dr. Georg Thenius, techn. Chemiker. Mit 32 Abbild. 34 Bog. 8 Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LXVIII. Band. **Die Marmorirkunst.** Ein Lehr-, Hand- u. Musterbuch f. Buchbindereien, Buntpapierfabriken u. verwandte Geschäfte. Von J. Ph. Boeck. Mit 30 Marmorpapier-Mustern u. 6 Abbild. 6 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXIX. Band. **Die Fabrikation des Wachstuches**, des amerikanischen Ledertuches, des Wachs-Taffets, der Maler- und Zeichen-Leinwand, sowie die Fabrikation des Theertuches, der Dachpappe und die Darstellung der unverbrennlichen und gegerbten Gewebe. Den Bedürfnissen der Praktiker entsprechend. Von Rudolf Eßlinger, Fabrikant. Mit 11 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

LXX. Band. **Das Celluloid**, seine Rohmaterialien, Fabrikation, Eigenschaften und technische Verwendung. Für Celluloid- und Celluloidwaaren-Fabrikanten, für alle Celluloid verarbeitenden Gewerbe, Zahnärzte u. Zahntechniker. Von Dr. Fr. Böckmann, techn. Chem. Mit 8 Abbild. 7 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXXI. Band. **Das Ultramarin und seine Bereitung** nach dem jetzigen Stande dieser Industrie. Von C. Fürstenau. Mit 25 Abbild. 7 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXXII. Band. **Petroleum und Erdwachs.** Darstellung der Gewinnung von Erdöl und Erdwachs (Ceresin), deren Verarbeitung auf Leuchtöle und Paraffin, sowie aller anderen aus denselben zu gewinnenden Producte, mit einem Anhang, betreffend die Fabrikation von Photogen, Solaröl und Paraffin aus Braunkohlentheer. Mit besonderer Rücksichtnahme auf die aus Petroleum dargestellten Leuchtöle, deren Aufbewahrung und technische Prüfung. Von Arthur Burgmann, Chemiker. Mit 12 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXIII. Band. **Das Löthen und die Bearbeitung der Metalle.** Eine Darstellung aller Arten von Loth, Löthmitteln und Löthapparaten, sowie der Behandlung der Metalle während der Bearbeitung. Handbuch für Praktiker. Nach eigenen Erfahrungen bearbeitet von Edmund Schlosser. Mit 21 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXIV. Band. **Die Gasbeleuchtung im Haus und die Selbsthilfe des Gas-Consumenten.** Praktische Anleitung zur Herstellung zweckmäßiger Gasbeleuchtungen, mit Angabe der Mittel, eine möglichst große Gasersparniß zu erzielen. Von A. Müller. Mit 84 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

LXXV. Band. **Die Untersuchung der im Handel und Gewerbe gebräuchlichsten Stoffe** (einschließlich der Nahrungsmittel). Gemeinverständlich dargestellt von Dr. S. Pick. Ein Handbuch für Handel- und Gewerbetreibende jeder Art, für Apotheker, Photographen, Landwirthe, Medicinal- und Zollbeamte. Mit 16 Abbild. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LXXVI. Band. **Das Verzinnen, Verzinken, Vernickeln, Verstählen** und das Ueberziehen von Metallen mit anderen Metallen überhaupt. Eine Darstellung praktischer Methoden zur Anfertigung aller Metallüberzüge aus Zinn, Zink, Blei, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Nickel, Kobalt und Stahl, sowie der Patina, der oxydirten Metalle und der Bronzirungen. Von Friedrich Hartmann. Zweite verbesserte Auflage. Mit 3 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXVII. Band. **Kurzgefaßte Chemie der Rübensaft-Reinigung.** Zum Gebrauche für praktische Zucker-Fabrikanten. Von W. Sykora und F. Schiller. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXVIII. Band. **Die Mineral-Malerei.** Neues Verfahren zur Herstellung witterungsbeständiger Wandgemälde. Technisch-wissenschaftliche Anleitung von A. Keim. 6 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXXIX. Band. **Die Chocolade-Fabrikation.** Eine Darstellung der verschiedenen Verfahren zur Anfertigung aller Sorten Chocoladen, der hierbei in Anwendung kommenden Materialien u. Maschinen. Nach d. neuesten Stande der Techn. geschildert v. Ernst Saldau. Mit 34 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXX. Band. **Die Briquette-Industrie und die Brennmaterialien.** Mit einem Anhange: Die Anlage der Dampfkessel und Gasgeneratoren mit besonderer Berücksichtigung der rauchfreien Verbrennung. Von Dr. Friedrich Jünemann, technischer Chemiker. Mit 48 Abbild. 26 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LXXXI. Band. **Die Darstellung des Eisens** und der Eisenfabrikate. Handbuch für Hüttenleute und sonstige Eisenarbeiter, für Techniker, Händler mit Eisen und Metallwaaren, für Gewerbe- und Fachschulen 2c. Von Eduard Japing. Mit 73 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXXII. Band. **Die Lederfärberei und die Fabrikation des Lackleders.** Ein Handbuch für Lederfärber und Lackirer. Anleitung zur Herstellung aller Arten von färbigem Glacéleder nach dem Anstreich- und Tauchverfahren, sowie mit Hilfe der Theerfarben, zum Färben von schwedischem, sämischgarem und lohgarem Leder, zur Saffian-, Corduan-, Chagrinfärberei 2c. und zur Fabrikation von schwarzem und färbigem Lackleder. Von Ferdinand Wiener, Leder-Fabrikant. Mit 15 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXXIII. Band. **Die Fette und Oele.** Darstellung der Eigenschaften aller Fette und Oele, der Fett- und Oelraffinerie und der Kerzenfabrikation. Nach dem neuesten Stande der Technik leichtfaßlich geschildert von Friedrich Thalmann. Mit 31 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXXIV. Band. **Die Fabrikation der moussirenden Getränke.** Praktische Anleitung zur Fabrikation aller moussirenden Wässer, Limonaden, Weine 2c. und gründliche Beschreibung der hierzu nöthigen Apparate. Von Oskar Meitz. Neu bearbeitet von Dr. E. Luhmann, Chemiker und Fabriksdirector. Zweite Aufl. Mit 24 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

LXXXV. Band. **Gold, Silber und Edelsteine.** Handbuch für Gold-, Silber-, Bronzearbeiter und Juweliere. Vollständige Anleitung zur technischen Bearbeitung der Edelmetalle, enthaltend das Legiren, Gießen, Bearbeiten, Emailliren, Färben und Oxydiren, das Vergolden, Incrustiren und Schmücken der Gold- und Silberwaaren mit Edelsteinen und die Fabrikation des Imitationsschmuckes. Von Alexander Wagner. Mit 14 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. Preis 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXXVI. Band. **Die Fabrikation der Aether und Grundessenzen.** Die Aether, Fruchtäther, Fruchtessenzen, Fruchtextracte, Fruchtsyrupe, Tincturen zum Färben und Klärungsmittel. Nach den neuesten Erfahrungen bearbeitet von Dr. Th. Horatius. Mit 14 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXXVII. Band. **Die technischen Vollendungs-Arbeiten der Holz-Industrie,** das Schleifen, Beizen, Poliren, Lackiren, Anstreichen und Vergolden des Holzes, nebst der Darstellung der hierzu verwendbaren Materialien in ihren Hauptgrundzügen. Von L. E. Andés. Zweite vollständig umgearbeitete und verbesserte Auflage. Mit 33 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.



LXXXVIII. Band. **Die Fabrikation von Albumin und Eierconserven.** Eine Darstellung der Eigenschaften der Eiweißkörper und der Fabrikation von Eier- und Blutalbumin, des Patent- und Naturalbumins, der Eier- und Dotter-Conserven und der zur Conservirung frischer Eier dienenden Verfahren. Von Karl Ruprecht. Mit 13 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 20 kr. = 2 M. 25 Pf.

LXXXIX. Band. **Die Feuchtigkeit der Wohngebäude,** der Mauerfraß und Holzschwamm, nach Ursache, Wesen und Wirkung betrachtet und die Mittel zur Verhütung sowie zur sicheren und nachhaltigen Beseitigung dieser Uebel unter besonderer Hervorhebung eines neuen und praktisch bewährten Verfahrens zur Trockenlegung feuchter Wände und Wohnungen. Für Baumeister, Bautechniker, Gutsverwalter, Tüncher, Maler und Hausbesitzer. Von A. Keim, technischer Director in München. Mit 14 Abbild. 8 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XC. Band. **Die Verzierung der Gläser durch den Sandstrahl.** Vollständige Unterweisung zur Mattverzierung von Tafel- und Hohlglas mit besonderer Berücksichtigung der Beleuchtungsartikel. Viele neue Verfahren: Das Lasiren der Gläser. Die Mattdecoration von Porzellan und Steingut. Das Mattiren und Verzieren der Metalle. Nebst einem Anhange: Die Sandblas-Maschinen. Von J. B. Miller, Glastechn. Mit 8 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XCI. Band. **Die Fabrikation des Alauns,** der schwefelsauren und essigsauren Thonerde, des Bleiweißes und Bleizuckers. Von Friedrich Jünemann, technischer Chemiker. Mit 9 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XCII. Band. **Die Tapete,** ihre ästhetische Bedeutung und technische Darstellung, sowie kurze Beschreibung der Buntpapier-Fabrikation. Zum Gebrauche für Musterzeichner, Tapeten- und Buntpapier-Fabrikanten. Von Th. Seemann. Mit 42 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XCIII. Band. **Die Glas-, Porzellan- und Email-Malerei in ihrem ganzen Umfange.** Ausführliche Anleitung zur Anfertigung sämmtlicher bis jetzt zur Glas-, Porzellan-, Email-, Fayence- und Steingut-Malerei gebräuchlichen Farben und Flüsse, nebst vollständiger Darstellung des Brennens dieser verschiedenen Stoffe. Unter Zugrundelegung der neuesten Erfindungen und auf Grund eigener in Sèvres und anderen großen Malereien und Fabriken erworbenen Kenntnisse bearb. und herausg. von Felix Hermann. Mit 10 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XCIV. Band. **Die Conservirungsmittel.** Ihre Anwendung in den Gährungsgewerben und zur Aufbewahrung von Nahrungsstoffen. Eine Darstellung der Eigenschaften der Conservirungsmittel und deren Anwendung in der Bierbrauerei, Weinbereitung, Essig- und Preßhefe-Fabrikation 2c. Von Dr. Josef Bersch. Mit 8 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XCV. Band. **Die elektrische Beleuchtung** und ihre Anwendung in der Praxis. Verfaßt von Dr. Alfred v. Urbanitzky. Zweite Aufl. Mit 169 Abbild. 20 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XCVI. Band. **Preßhefe, Kunsthefe und Backpulver.** Ausführliche Anleitung zur Darstellung von Preßhefe nach allen benannten Methoden, zur Bereitung der Kunsthefe und der verschiedenen Arten von Backpulver. Praktisch geschildert von Adolf Wilfert. 2. Aufl. Mit 18 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

XCVII. Band. **Der praktische Eisen- und Eisenwaarenkenner.** Kaufmännisch-technische Eisenwaarenkunde. Ein Handbuch für Händler mit Eisen- und Stahlwaaren, Fabrikanten, Ex- und Importeure, Agenten für Eisenbahn- und Baubehörden, Handels- und Gewerbeschulen 2c. Von Eduard Japing, dipl. Ingenieur und Redacteur, früher Eisenwerks-Director. Mit 98 Abbild. 37 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

XCVIII. Band. **Die Keramik** oder Die Fabrikation von Töpfer-Geschirr, Steingut, Fayence, Steinzeug, Terralith, sowie von französischem, englischem und Hartporzellan. Anleitung für Praktiker zur Darstellung aller Arten keramischer Waaren nach deutschem, französischem u. englischem Verfahren. Von Ludwig Wipplinger. Mit 45 Abbild. 24 Bogen. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

IC. Band. **Das Glycerin.** Seine Darst., seine Verbind. u. Anwendung in den Gewerben, in der Seifen-Fabrik., Parfümerie u. Sprengtechnik. Für Chem., Parfumeure, Seifen-Fabrik., Apotheker, Sprengtech. u. Industrielle geschildert von S. W. Koppe. Mit 20 Abbild. 13 Bogen. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

C. Band. **Handbuch der Chemigraphie,** Hochätzung in Zink für Buchdruck mittelst Umdruck von Autographien und Photogrammen und directer Copirung od. Radirung d. Bildes a. d. Platte (Photo-Chemigraphie u. Chalco-Chemigraphie). Von W. F. Toifel. Mit 14 Abbild. 17 Bg. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CI. Band. **Die Imitationen.** Eine Anleitung zur Nachahmung von Natur- und Kunstproducten, als: Elfenbein, Schildpatt, Perlen und Perlmutter, Korallen, Bernstein, Horn, Hirschhorn, Fischbein, Alabaster 2c., sowie zur Anfertigung von Kunst-Steinmassen, Nachbildungen von Holzschnitzereien, Bildhauer-Arbeiten, Mosaiken, Intarsien u. s. w. Für Gewerbetreibende und Künstler. Von Sigmund Lehner. Mit 10 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CII. Band. **Die Fabrikation der Copal-, Terpentinöl- und Spiritus-Lacke.** Von L. E. Andés. Mit 38 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. = 5 M. 40 Pf.

CIII. Band. **Kupfer und Messing,** sowie alle technisch wichtigen Kupferlegierungen, ihre Darstellungsmeth., Eigenschaften und Weiterverarbeitg. zu Handelswaaren. Von Ed. Japing. Mit 41 Abbild. 14 Bg. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CIV. Band. **Die Bereitung der Brennerei-Kunsthefe.** Auf Grundlage vieljähriger Erfahrungen geschildert von Josef Reis, Brennerei-Director. 4 Bog. 8. Eleg. geh. 80 kr. = 1 M. 50 Pf.

CV. Band. **Die Verwerthung des Holzes auf chemischem Wege.** Eine Darstellung der Verfahren zur Gewinnung der Destillationsproducte des Holzes, der Essigsäure, des Holzgeistes, des Theeres und der Theeröle, des Creosotes, des Rußes, des Röstholzes und der Kohlen. Die Fabrikation von Oxalsäure, Alkohol und Cellulose, der Gerb- und Farbstoff-Extracte aus Rinden und Hölzern, der ätherischen Oele und Harze. Für Praktiker geschildert von Dr. Josef Bersch. Mit 56 Abbild. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CVI. Band. **Die Fabrikation der Dachpappe und der Anstrichmasse** für Pappdächer in Verbindung mit der Theer-Destillation nebst Anfertigung aller Arten von Pappbedachungen und Asphaltirungen. Ein Handbuch für Dachpappe-Fabrikanten, Baubeamte, Bau-Techniker, Dachdecker und Chemiker. Von Dr. E. Luhmann, techn. Chemiker. Mit 47 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CVII. Band. **Anleitung zur chemischen Untersuchung und rationellen Beurtheilung der landwirthschaftlich wichtigsten Stoffe.** Ein den praktischen Bedürfnissen angepaßtes analytisches Handbuch für Landwirthe, Fabrikanten künstlicher Düngemittel, Chemiker, Lehrer der Agriculturchemie und Studirende höherer landwirthschaftlicher Lehranstalten. Nach dem neuesten Stande der Praxis verfaßt von Robert Heinze. Mit 15 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CVIII. Band. **Das Lichtpausverfahren** in theoretischer u. praktischer Beziehung. Von H. Schuberth. Mit 4 Abbild. 8 Bg. 8. Eleg. geh. 80 kr. = 1 M. 50 Pf.

CIX. Band. **Zink, Zinn und Blei.** Eine ausführliche Darstellung der Eigenschaften dieser Metalle, ihrer Legirungen unter einander und mit anderen Metallen, sowie ihrer Verarbeitung auf physikalischem Wege. Für Metallarbeiter und Kunst-Industrielle geschildert von Karl Richter. Mit 8 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CX. Band. **Die Verwerthung der Knochen auf chemischem Wege.** Eine Darstellung der Verarbeitung von Knochen auf alle aus denselben gewinnbaren Producte, insbesondere von Fett, Leim, Düngemitteln und Phosphor. Von Wilhelm Friedberg. Mit 20 Abbild. 20 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXI. Band. **Die Fabrikation der wichtigsten Antimon-Präparate.** Mit besonderer Berücksichtigung des Brechweinsteines und Goldschwefels. Von Julius Oehme. Mit 27 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

CXII. Band. **Handbuch der Photographie der Neuzeit.** Mit besonderer Berücksichtigung des Bromsilber-Gelatine-Emulsions-Verfahrens. Von Julius Krüger. Mit 61 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXIII. Band. **Draht und Drahtwaaren.** Praktisches Hilfs- und Handbuch für die gesammte Drahtindustrie, Eisen- und Metallwaarenhändler, Gewerbe- und Fachschulen. Mit besonderer Rücksicht auf die Anforderungen der Elektrotechnik. Von Eduard Japing, Ingenieur und Redacteur. Mit 119 Abbild. 29 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 60 kr. = 6 M. 50 Pf.

CXIV. Band. **Die Fabrikation der Toilette-Seifen.** Praktische Anleitung zur Darstellung aller Arten von Toilette-Seifen auf kaltem und warmem Wege, der Glycerin-Seife, der Seifenkugeln, der Schaumseifen und der Seifen-Specialitäten. Mit Rücksicht auf die hierbei in Verwendung kommenden Maschinen und Apparate geschildert von Friedrich Wiltner, Seifenfabrikant. Mit 39 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXV. Band. **Praktisches Handbuch für Anstreicher und Lackirer.** Anleitung zur Ausführung aller Anstreicher-, Lackirer-, Vergolder- und Schriftenmaler-Arbeiten, nebst eingehender Darstell. aller verwend. Rohstoffe u. Utensilien von L. E. Andés. Mit 14 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXVI. Band. **Die praktische Anwendung der Theerfarben in der Industrie.** Praktische Anleitung zur rationellen Darstellung der Anilin-, Phenyl-, Naphthalin- und Anthracen-Farben in der Färberei, Druckerei, Buntpapier-, Tinten- und Zündwaaren-Fabrikation. Praktisch dargestellt von E. J. Höbl, Chemiker. Mit 20 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

CXVII. Band. **Die Verarbeitung des Hornes, Elfenbeins, Schildpatts, der Knochen und der Perlmutter.** Abstammung und Eigenschaften dieser Rohstoffe, ihre Zubereitung, Färbung u. Verwendung in der Drechslerei, Kamm- und Knopffabrikation, sowie in anderen Gewerben. Ein Handbuch für Horn- u. Bein-Arbeiter, Kammmacher, Knopffabrikanten, Drechsler, Spielwaarenfabrikanten etc. etc. Von Louis Edgar Andés. Mit 32 Abbild. 15 Bog. 8. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXVIII. **Die Kartoffel- und Getreidebrennerei.** Handbuch für Spiritusfabrikanten, Brennereileiter, Landwirthe und Techniker. Enthaltend: Die praktische Anleitung zur Darstellung von Spiritus aus Kartoffeln, Getreide, Mais und Reis, nach den älteren Methoden und nach dem Hochdruckverfahren. Dem neuesten Standpunkte der Wissenschaft und Praxis gemäß populär geschildert von Adolf Wilfert. Mit 88 Abbild. 29 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. = 5 M. 40 Pf.

CXIX. Band. **Die Reproductions-Photographie** sowohl für Halbton als Strichmanier nebst den bewährtesten Copirprocessen zur Uebertragung photographischer Glasbilder aller Art auf Zink und Stein. Von J. Husnik, k. k. Prof. am I. Staats-Realgymn. in Prag, Ehrenmitglied der Photogr. Vereine zu Berlin und Prag 2c. Mit 34 Abbild. u. 7 Tafeln. 13 Bogen. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXX. Band. **Die Beizen, ihre Darstellung, Prüfung und Anwendung.** Für den prakt. Färber und Zeugdrucker bearb. von H. Wolff, Lehrer der Chemie am Zürcherisch. Technikum in Winterthur. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXXI. Band. **Die Fabrikation des Aluminiums und der Alkalimetalle.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. Mit 27 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

CXXII. Band. **Die Technik der Reproduction von Militär-Karten und Plänen** nebst ihrer Vervielfältigung, mit besonderer Berücksichtigung jener Verfahren, welche im k. k. militär-geographischen Institute zu Wien ausgeübt werden. Von Ottomar Volkmer, k. k. Oberstlieutenant der Artillerie und Vorstand der technischen Gruppe im k. k. militär-geographischen Institute. Mit 57 Abbild. im Texte und einer Tafel. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXIII. Band. **Die Kohlensäure.** Eine ausführliche Darstellung der Eigenschaften, des Vorkommens, der Herstellung und technischen Verwendung dieser Substanz. Ein Handbuch für Chemiker, Apotheker, Fabrikanten künstlicher Mineralwässer, Bierbrauer und Gastwirthe. Von Dr. E. Luhmann, Chemiker. Mit 47 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXXIV. Band. **Die Fabrikation der Siegel- und Flaschenlacke.** Enthaltend die Anleitung zur Erzeugung von Siegel- und Flaschenlacken, die eingehende Darstellung der Rohmaterialien, Utensilien und maschinellen Vorrichtungen. Mit einem Anhange: Die Fabrikat. d. Brauer-, Wachs-, Schuhmacher- u. Bürstenpeches. Von Louis Edgar Andés. Mit 21 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXXV. Band. **Die Teigwaaren-Fabrikation.** Mit einem Anhange: Die Panier- und Mutschelmehl-Fabrikation. Eine auf praktische Erfahrung begründete, gemeinverständliche Darstellung der Fabrikation aller Arten Teigwaaren, sowie des Panier- und Mutschelmehles mittelst Maschinenbetriebes, nebst einer Schilderung sämmtlicher Maschinen und der verschiedenen Rohproducte. Mit Beschreibung und Plan einer Teigwaaren-Fabrik. Leichtfaßlich geschildert von Friedrich Oertel, Teigwaaren-Fabrikant (Jury-Mitglied der bayrischen Landesausstellung 1882, Gruppe Nahrungsmittel), Mitarbeiter der allgemeinen Bäcker- und Conditor-Zeitung in Stuttgart. Mit 43 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

CXXVI. Band. **Praktische Anleitung zur Schriftmalerei** mit besonderer Berücksichtigung der Construction und Berechnung von Schriften für bestimmte Flächen, sowie der Herstellung von Glas-Glanzvergoldung und Versilberung für Glasfirmentafeln 2c. Nach eigenen praktischen Erfahrungen bearbeitet von Robert Hagen. Mit 18 Abbild. 7 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

CXXVII. Band. **Die Meiler- und Retorten-Verkohlung.** Die liegenden und stehenden Meiler. Die gemauerten Holzverkohlungs-Oefen und die Retorten-Verkohlung. Ueber Kiefer-, Kien- und Buchenholztheer-Erzeugung, sowie Birkentheer-Gewinnung. Die technisch-chemische Bearbeitung der Nebenproducte der Holzverkohlung, wie Holzessig, Holzgeist und Holztheer. Die Rothsalz-Fabrikation, das schwarze und graue Rothsalz. Die Holzgeist-Erzeugung und die Verarbeitung des Holztheers auf leichte und schwere Holztheeröle, sowie die Erzeugung des Holztheerparaffins und Verwerthung des Holztheerpeches. Nebst einem Anhang: Ueber die Rußfabrikation aus harz. Hölzern, Harzen, harz. Abfällen und Holztheerölen. Ein Handbuch f. Herrschaftsbesitzer, Forstbeamte, Fabrikanten, Chemiker, Techniker u. Praktikanten. Nach den neuest. Erfahrung. prakt. u. wissenschaftl. bearb. von Dr. Georg Thenius, Chemik. u. Technik. Mit 80 Abbild. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXVIII. Band. **Die Schleif-, Polir- und Putzmittel** für Metalle aller Art, Glas, Holz, Edelsteine, Horn, Schildpatt, Perlmutter, Steine 2c., ihr Vorkommen, ihre Eigenschaften, Herstell. u. Verwend., nebst Darstell. d. gebräuchlichsten Schleifvorrichtung. Ein Handbuch für techn. u. gewerbl. Schulen, Eisenwerke, Maschinenfabriken, Glas-, Metall- u. Holz-Industrielle, Gewerbetreibende u. Kaufleute. Von Vict. Wahlburg. Mit 66 Abbild. 23 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXIX. Band. **Lehrbuch der Verarbeitung der Naphtha** oder des Erdöles auf Leucht- und Schmieröle. Von F. A. Roßmäßler. Mit 25 Abbild. 8 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

CXXX. Band. **Die Zinkätzung** (Chemigraphie, Zinkotypie). Eine faßliche Anleit. nach d. neuesten Fortschritten alle in d. bekannten Manieren auf Zink o. ein anderes Metall übrtrag. Bilder hoch zu ätzen u. f. d. typograph. Presse geeig. Druckplatten herzustellen. Von J. Husnik, k. k. Prof. am I. Staats-Realgymnasium in Prag. Mit 16 Abbild. und vier Tafeln. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXXXI. Band. **Die Fabrikation der Kautschuk- und Leimmasse-Typen, Stempel und Druckplatten, sowie die Verarbeitung des Korkes und der Korkabfälle.** Darstellung der Fabrikation von Kautschuk- und Leimmasse-Typen und Stempel, der Celluloid-Stampiglien, der hiezugehörigen Apparate, Vorrichtungen, der erforderlichen Stempelfarben, der Buch- und Steindruckwalzen, Fladerdruckplatten, elastischen Formen für Stein- und Gypsguß; ferner der Gewinnung, Eigenschaften und Verarbeitung des Korkes zu Pfropfen, der hierbei resultirenden Abfälle zu künstlichen Pfropfen, Korksteinen, 2c. Von August Stefan. Mit 65 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXXXII. Band. **Das Wachs und seine technische Verwendung.** Darstellung der natürlichen animalischen und vegetabilischen Wachsarten, des Mineralwachses (Ceresin), ihrer Gewinnung, Reinigung, Verfälschung und Anwendung in der Kerzenfabrikation, zu Wachsblumen u. Wachsfiguren, Wachspapier, Salben u. Pasten, Pomaden, Farben, Lederschmieren, Fußbodenwichsen u. vielen anderen techn. Zwecken. Von Ludwig Sedna. Mit 33 Abbild. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

CXXXIII. Band. **Asbest und Feuerschutz.** Enthaltend: Vorkommen, Verarbeitung und Anwendung des Asbestes, sowie den Feuerschutz in Theatern, öffentlichen Gebäuden u. s. w., durch Anwendung von Asbestpräparaten, Imprägnirungen und sonstigen bewährten Vorkehrungen. Von Wolfgang Venerand. Mit 47 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXXXIV. Band. **Die Appreturmittel und ihre Verwendung.** Darstellung aller in der Appretur verwendeten Hilfsstoffe, ihrer spec. Eigenschaften, d. Zubereitung zu Appreturmassen u. ihrer Verwend. z. Appretiren v. leinenen, baumwollenen, seidenen u. wollenen Geweben; feuersichere u. wasserdichte Appreturen u. d. hauptsächl. maschinellen Vorrichtung. Ein Hand- u. Hilfsb. f. Appreteure, Drucker, Färber, Bleicher, Wäschereien. Von F. Polleyn. Mit 38 Abb. 25 Bg. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXXV. Band. **Die Fabrikation von Rum, Arrak und Cognac** und allen Arten von Obst- und Früchtenbranntweinen, sowie die Darstellung der besten Nachahmungen von Rum, Arrak, Cognac, Pflaumenbranntwein (Slibowitz), Kirschwasser u. s. w. Nach eigenen Erfahrungen geschild. von August Gaber, gepr. Chemiker und prakt. Destillateur. Mit 45 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXXVI. Band. **Handb. d. prakt. Seifen-Fabrikat.** Von Alwin Engelhardt. I. Band. Die in der Seifen-Fabrikat. angewend. Rohmaterialien, Maschinen und Geräthschaften. Mit 66 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CXXXVII. Band. **Handb. d. prakt. Seifen-Fabrikat.** Von Alwin Engelhardt. II. Band. Die gesammte Seifen-Fabrikation nach dem neuesten Standpunkte der Praxis u. Wissenschaft. Mit 20 Abbild. 33 Bog. 8. Geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CXXXVIII. Band. **Handbuch der praktischen Papier-Fabrikation.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. Erster Band: Die Herstellung des Papiers aus Hadern auf der Papiermaschine. Mit 166 Abbild. u. mehr. Tafeln. 30 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark. (Siehe auch die Bände 141, 142.)

CXXXIX. Band. **Die Filter für Haus und Gewerbe.** Eine Beschreibung der wichtigsten Sand-, Gewebe-, Papier-, Kohle-, Eisen-, Stein-, Schwamm- u. s. w. Filter u. der Filterpressen. Mit besond. Berücksichtigung d. verschied. Verfahren zur Untersuchung, Klärung u. Reinigung d. Wassers u. d. Wasserversorgung von Städten. Für Behörden, Fabrikanten, Chemiker, Techniker, Haushaltungen u. s. w. bearbeitet von Richard Krüger, Ingenieur, Lehrer an den techn. Fachschulen der Stadt Buxtehude bei Hamburg. Mit 72 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXL. Band. **Blech und Blechwaaren.** Prakt. Handbuch f. die gesammte Blechindustrie, f. Hüttenwerke, Constructions-Werkstätten, Maschinen- u. Metallwaaren-Fabriken, sowie f. d. Unterricht an technischen u. Fachschulen. Von Eduard Japing, Ingenieur u. Redacteur. Mit 125 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. = 5 M. 40 Pf.

CXLI. Band. **Handbuch der praktischen Papier-Fabrikation.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. In drei Bänden.

Zweiter Band. Die Ersatzmittel der Hadern. Mit 114 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark. (Siehe auch Band 138 und 142.)

CXLII. Band. Dritter Band. Anleitung zur Untersuchung der in der Papier-Fabrikation vorkommenden Rohproducte. Mit 28 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf. (Siehe auch Band 138 und 141.)

CXLIII. Band. **Wasserglas und Infusorienerde, deren Natur und Bedeutung für Industrie, Technik und die Gewerbe.** Von Hermann Krätzer. Mit 32 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXLIV. Band. **Die Verwerthung der Holzabfälle.** Eingehende Darstellung der rationellen Verarbeitung aller Holzabfälle, namentlich der Sägespäne, ausgenützten Farbhölzer und Gerberrinden als Heizungsmaterialien, zu chemischen Producten, zu künstlichen Holzmassen, Explosivstoffen, in der Landwirthschaft als Düngemittel und zu vielen anderen technischen Zwecken. Ein Handbuch für Waldbesitzer, Holzindustrielle Landwirthe 2c. 2c. Von Ernst Hubbard. Mit 35 Abbild. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXLV. Band. **Die Malz-Fabrikation.** Eine Darstellung der Bereitung von Grün-, Luft- und Darrmalz nach den gewöhnlichen und den verschiedenen mechanischen Verfahren. Von Karl Weber. Mit 77 Abbild. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXLVI. Band. **Chemisch-technisches Receptbuch für die gesammte Metall-Industrie.** Eine Sammlung ausgewählter Vorschriften für die Bearbeitung aller Metalle, Decoration u. Verschönerung daraus gefertigter Arbeiten, sowie deren Conservirung. Ein unentbehrl. Hilfs- u. Handbuch für alle Metall verarbeitenden Gewerbe. Von Heinrich Bergmann. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXLVII. Band. **Die Gerb- und Farbstoff-Extracte.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. Mit 59 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXLVIII. Band. **Die Dampf-Brauerei.** Eine Darstellung des gesammten Brauwesens nach dem neuesten Stande des Gewerbes. Mit besond. Berücksichtigung der Dickmaisch- (Decoctions-) Brauerei nach bayrischer, Wiener und böhmischer Braumethode und des Dampfbetriebes. Für Praktiker geschildert von Franz Cassian, Brauereileiter. Mit 55 Abbild. 24 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

CXLIX. Band. **Praktisches Handbuch für Korbflechter.** Enthaltend die Zurichtung der Flechtweiden und Verarbeitung derselben zu Flechtwaaren, die Verarbeitung des spanischen Rohres, des Strohes, die Herstellung von Sparteriewaaren, Strohmatten und Rohrdecken, das Bleichen, Färben, Lackiren und Vergolden der Flechtarbeiten, das Bleichen und Färben des Strohes u. s. w. Von Louis Edgar Andés. Mit 82 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CL. Band. **Handbuch der praktischen Kerzen-Fabrikation.** Von Alwin Engelhardt. Mit 58 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CLI. Band. **Die Fabrikation künstlicher plastischer Massen,** sowie der künstlichen Steine, Kunststeine, Stein- und Cementgüsse. Eine ausführliche Anleitung zur Herstellung aller Arten künstlicher plastischer Massen aus Papier, Papier- und Holzstoff, Cellulose, Holzabfällen, Gyps, Kreide, Leim, Schwefel, Chlorzink und vielen anderen, bis nun wenig verwendeten Stoffe, sowie des Stein- und Cementgusses unter Berücksichtigung der Fortschritte bis auf die jüngste Zeit. Von Johannes Höfer. Mit 44 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLII. Band. **Die Färberei à Ressort und das Färben der Schmuckfedern.** Leichtfaßliche Anleitung, gewebte Stoffe aller Art neu zu färben oder umzufärben und Schmuckfedern zu appretiren und zu färben. Von Alfred Brauner. Mit 13 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLIII. Band. **Die Brillen, das dioptrische Fernrohr und Mikroskop.** Ein Handbuch für praktische Optiker von Dr. Carl Neumann. Nebst einem Anhange, enthaltend die Burow'sche Brillen-Scala und das Wichtigste aus dem Productions- und Preisverzeichnisse der Glasschmelzerei für optische Zwecke von Schott & Gen in Jena. Mit 95 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLIV. Band. **Die Fabrikation der Silber- und Quecksilber-Spiegel** oder das Belegen der Spiegel auf chemischem und mechanischem Wege. Von Ferdinand Cremer. Mit 37 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLV. Band. **Die Technik der Radirung.** Eine Anleitung zum Radiren und Aetzen auf Kupfer. Von J. Roller, k. k. Professor. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLVI. Band. **Die Herstellung der Abziehbilder** (Metachromatypie, Decalcomanie) der Blech- und Transparentdrucke nebst der Lehre der Uebertragungs-, Um- u. Ueberdruckverfahren. Von Wilhelm Langer. Mit 8 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLVII. Band. **Das Trocknen, Bleichen, Färben, Bronziren und Vergolden natürlicher Blumen und Gräser** sowie sonstiger Pflanzentheile und ihre Verwendung zu Bouquets, Kränzen und Decorationen. Ein Handbuch für praktische Gärtner, Industrielle, Blumen- und Bouquetsfabrikanten. Auf Grund langjähriger praktischer Erfahrungen zusammengestellt von W. Braunsdorf. Mit 4 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLVIII. Band. **Die Fabrikation der deutschen, französischen und englischen Wagen-Fette.** Leichtfaßlich geschildert für Wagenfett-Fabrikanten, Seifen-Fabrikanten, für Interessenten der Fett- und Oelbranche. Von Hermann Krätzer. Mit 24 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLIX. Band. **Haus-Specialitäten.** Von Adolf Vomáčka. Mit 12 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLX. Band. **Betrieb der Galvanoplastik mit dynamo-elektrischen Maschinen** zu Zwecken der graphischen Künste von Ottomar Volkmer. Mit 47 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXI. Band. **Die Rübenbrennerei.** Dargestellt nach den praktischen Erfahrungen der Neuzeit von Hermann Briem. Mit 14 Abbild. und einem Situationsplane. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLXII. Band. **Das Aetzen der Metalle für kunstgewerbliche Zwecke.** Nebst einer Zusammenstellung der wichtigsten Verfahren zur Verschönerung geätzter Gegenstände. Nach eigenen Erfahrungen unter Benützung der besten Hilfsmittel bearbeitet von H. Schuberth. Mit 24 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CLXIII. Band. **Handbuch der praktischen Toiletteseifen-Fabrikation.** Praktische Anleitung zur Darstellung aller Sorten von deutschen, englischen und französischen Toiletteseifen, sowie der medicinischen Seifen, Glycerinseifen und der Seifenspecialitäten. Unter Berücksichtigung der hierzu in Verwendung kommenden Rohmaterialien, Maschinen und Apparate. Von Alwin Engelhardt. Mit 107 Abbildungen. 31 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CLXIV. Band. **Praktische Herstellung von Lösungen.** Ein Handbuch zum raschen und sicheren Auffinden der Lösungsmittel aller technisch und industriell wichtigen festen Körper, sowie zur Herstellung von Lösungen solcher Stoffe für Techniker und Industrielle. Von Dr. Theodor Koller. Mit 16 Abbild. 23 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CLXV. Band. **Der Gold- und Farbendruck** auf Caliko, Leder, Leinwand, Papier, Sammet, Seide und andere Stoffe. Ein Lehrbuch des Hand- und Preßvergoldens, sowie des Farben- und Bronzedruckes. Nebst Anhang: Grundriß der Farbenlehre und Ornamentik. Zum Gebrauche für Buchbinder, Hand- und Preßvergolder, Lederarbeiter und Buntpapierdrucker mit Berücksichtigung der neuesten Fortschritte und Erfahrungen bearbeitet von Eduard Grosse. Mit 102 Abbild. 18 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXVI. Band. **Die künstlerische Photographie.** Nebst einem Anhange über die Beurtheilung und technische Behandlung der Negative photographischer Porträte und Landschaften, sowie über die chemische und artistische Retouche, Momentaufnahmen und Magnesiumblitzbilder. Von C. Schiendl. Mit 38 Abbild. und einer Lichtdrucktafel. 22 Bog. 8. Geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CLXVII. Band. **Die Fabrikation der nichttrübenden ätherischen Essenzen und Extracte.** Vollständige Anleitung zur Darstellung der sogenannten extrastarken, in 50%igem Sprit löslichen ätherischen Oele, sowie der Mischungs-Essenzen, Extract-Essenzen, Frucht-Essenzen und der Fruchtäther. Nebst einem Anhange: Die Erzeugung der in der Liqueur-Fabrikation zur Anwendung kommenden Farbtincturen. Ein Handbuch für Fabrikanten, Materialwaarenhändler und Kaufleute. Auf Grundlage eigener Erfahrungen praktisch bearbeitet von Heinrich Popper. Mit 15 Abbild. 18 Bog. 8. Geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CLXVIII. Band. **Das Photographiren.** Ein Rathgeber für Amateure und Fachphotographen bei Erlernung und Ausübung dieser Kunst. Mit Berücksichtigung der neuesten Erfindungen und Verbesserungen auf diesem Gebiete. Herausgegeben von J. F. Schmid. Mit 54 Abbild. und einer Farbendruck-Beilage. 19 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXIX. Band. **Oel- und Buchdruckfarben.** Praktisches Handbuch für Firniß- und Farbenfabrikanten enthaltend das Reinigen und Bleichen des Leinöles nach verschiedenen Methoden, Nachweisung der Verfälschungen desselben sowie der Leinölfirnisse und der zu Farben verwendeten Körper; ferner die Fabrikation der Leinölfirnisse, der Oel- und Firnißfarben für Anstriche jeder Art, der Kunstölfarben (Malerfarben), der Buchdruckfirnisse, der Flamm- und Lampenruße, der Buchdruckschwärzen und bunten Druckfarben, nebst eingehender Beschreibung aller maschinellen Vorrichtungen. Unter Zugrundelegung langjähriger eigener Erfahrungen und mit Benützung aller seitherigen Neuerungen und Erfindungen leichtfaßlich dargestellt von Louis Edgar Andés, Lack- und Firnißfabrikant. Mit 56 Abbild. 19 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXX. Band. **Chemie für Gewerbetreibende.** Eine Darstellung der Grundlehren der chemischen Wissenschaft und deren Anwendung in den Gewerben. Von Dr. Friedrich Rottner. Mit 70 Abbild. 33 Bog. 8. Geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CLXXI. Band. **Theoretisch-praktisches Handbuch der Gas-Installation.** Von D. Coglievina, Ingenieur. Mit 70 Abbild. 23 Bog. 8. Geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CLXXII. Band. **Die Fabrikation und Raffinirung des Glases.** Genaue, übersichtliche Beschreibung der gesammten Glasindustrie, wichtig für den Fabrikanten, Raffineur, als auch für das Betriebsaufsichtspersonal, mit Berücksichtigung der neuesten Errungenschaften auf diesem Gebiete und auf Grund eigener, vielseitiger, praktischer Erfahrungen bearbeitet von Wilhelm Mertens. Mit 86 Abbild. 27 Bog. 8. Geh. 3 fl. = 5 M. 40 Pf.

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

CLXXIII. Band. **Die internationale Wurst- und Fleischwaaren-Fabrikation.** Nach den neuesten Erfahrungen bearbeitet von Nicolaus Merges. Mit 29 Abbild. 13 Bog. 8. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLXXIV. Band. **Die natürlichen Gesteine,** ihre chemisch-mineralogische Zusammensetzung, Gewinnung, Prüfung, Bearbeitung und Conservirung. Für Architekten, Bau- und Bergingenieure, Baugewerks- und Steinmetzmeister, sowie für Steinbruchbesitzer, Baubehörden u. s. w. Von Richard Krüger, Bauingenieur. Erster Band. Mit 7 Abbild. 18 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXXV. Band. **Die natürlichen Gesteine** u. s. w. Von Richard Krüger. Zweiter Band. Mit 109 Abbild. 20 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 M.

CLXXVI. Band. **Das Buch des Conditors** oder Anleitung zur praktischen Erzeugung der verschiedensten Artikel aus dem Conditorei-Fache. Buch für Conditore, Hotels, große Küchen und für das Haus, enthält 589 der vorzüglichsten Recepte von allen in das Conditoreifach einschlagenden Artikeln. Von Franz Urban, Conditor. Mit 37 Tafeln. 30 Bog. 8. Geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CLXXVII. Band. **Die Blumenbinderei in ihrem ganzen Umfange.** Die Herstellung sämmtlicher Bindereiartikel und Decorationen, wie Kränze, Bouquets, Guirlanden 2c. Ein Handbuch für praktische Gärtner, Industrielle, Blumen- und Bouquetsfabrikanten. Auf wissenschaftlichen und praktischen Grundlagen bearbeitet von W. Braunsdorf. Mit 61 Abbild. 20 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXXVIII. Band. **Chemische Präparatenkunde.** Handbuch der Darstellung und Gewinnung der am häufigsten vorkommenden chemischen Körper. Für Techniker, Gewerbetreibende und Industrielle. Von Dr. Theodor Koller. Mit 20 Abbild. 25 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXXIX. Band. **Das Gesammtgebiet der Vergolderei,** nach den neuesten Fortschritten und Verbesserungen. Die Herstellung von Decorationsgegenständen aus Holz, Steinpappe, Gußmasse; ferner die Anleitung zur echten und unechten Glanz- und Mattvergoldung von Holz, Eisen, Marmor, Sandstein, Glas u. s. w., sowie zum Versilbern, Bronziren und Faßmalen und der Herstellung von Holz-, Cuivre poli-, Porzellan- und Majolika-Imitationen. Die Fabrikation und Verarbeitung der Leisten. Von Otto Rentzsch, Vergolder. Mit 70 Abbild. 15 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXXX. Band. **Praktischer Unterricht in der heutigen Putzfedern-färberei,** Lappenfärberei mit Küpenführung und Chemische und Naßwäscherei. Von Louis Lau, praktischer Färbermeister. 12 Bog. 8. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLXXXI. Band. **Taschenbuch bestbewährter Vorschriften für die gangbarsten Handverkaufsartikel der Apotheken und Drogenhandlungen.** Unter Mitarbeiterschaft Th. Kindermann's verfaßt von Ph. Mr. Adolf Vomačka. 8 Bog. 8. Geh. 80 Kreuzer = 1 M. 50 Pf.

CLXXXII. Band. **Die Herstellung künstlicher Blumen und Pflanzen aus Stoff und Papier.** 1. Band: Die Herstellung der einzelnen Pflanzentheile, wie: Laub-, Blumen- und Kelchblätter, Staubfäden und Pistille. Ein Handbuch für Blumenarbeiterinnen, Modistinnen, Blumen- und Bouquetfabrikanten. Unter Berücksichtigung der neuesten Fortschritte auf diesem Gebiete bearbeitet von W. Braunsdorf. Mit 110 Abbild. 19 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXXXIII. Band. **Die Herstellung künstlicher Blumen und Pflanzen aus Stoff und Papier.** 2. Band. Die Herstellung künstlicher Blumen, Gräser, Palmen, Farrenkräuter, Blattpflanzen und Früchte. Ein Handbuch für Blumenarbeiterinnen, Modistinnen, Blumen- und Bouquetfabrikanten. Unter Berücksichtigung der neuesten Fortschritte auf diesem Gebiete bearbeitet von W. Braunsdorf. Mit 50 Abbild. 19 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLXXXIV. Band. **Die Praxis der Anilin-Färberei und -Druckerei auf Baumwoll-Waaren.** Enthaltend die in neuerer und neuester Zeit in der Praxis in Aufnahme gekommenen Herstellungsmethoden: Echtfärberei mit Anilinfarben, das Anilinschwarz und andere auf der Faser selbst zu entwickelnde Farben. Anwendung der Anilinfarben zum Zeugdruck. Von V. H. Soxhlet, Färberei-Chemiker. Mit 13 Abbildungen. 26 Bog. 8. Geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CLXXXV. Band. **Die Untersuchung von Feuerungs-Anlagen.** Eine Anleitung zur Anstellung von Heizversuchen von Hanns Freiherr Jüptner v. Jonstorff, Correspondent der k. geologischen Reichsanstalt, Chemiker der österr. alpinen Montangesellschaft 2c. Mit 49 Abbild. 34 Bog. 8. Geh. 3 fl. 30 kr. = 6 M.

Jeder Band ist einzeln zu haben. In eleganten Ganzleinwandbänden, Zuschlag pro Band 45 Kr. = 80 Pf. zu den oben bemerkten Preisen.

Heat (application & propagation)

Die Untersuchung

von

Feuerungs-Anlagen.

Eine Anleitung zur Anstellung von Heizversuchen

von

Hanns Freiherr Jüptner v. Jonstorff,

Correspondent der k. geologischen Reichsanstalt, Chemiker der Österreichisch-Alpinen Montangesellschaft 2c.

Mit 49 Abbildungen.



Wien. Pest. Leipzig.

A. Hartleben's Verlag.

1891.



K. und k. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen

Herrn

k. k. Commercialrath

Carl August Ritter von Frey

General-Director der Österreichisch-Alpinen Montangesellschaft

in Hochachtung und Verehrung

gewidmet.

Vorwort.

In unserer rechnenden, verbuchenden und bilanzirenden Zeit bedarf ein Werk, wie das vorliegende, wohl keiner speciellen Motivirung. Wenn ich also den Leser dennoch mit einem kurzen „Vorworte“ belästige, so geschieht es nicht, um für die Existenz-Berechtigung des Buches eine Lanze einzulegen, sondern nur um über die Anlage desselben in Kürze Folgendes zu bemerken.

Der Zweck des Buches, dem Leser eine ausführliche Anleitung zur Durchführung von Heizversuchen jeder Art zu geben, erforderte eine ziemlich eingehende Behandlung der physikalischen und chemischen Grundlagen. Anderseits erlaubte der verfügbare Raum (indem der ursprünglich vorgesehene Umfang des Buches um mehr als die Hälfte überschritten wurde) leider nicht die verschiedenen existirenden Feuerungsanlagen eingehend zu besprechen, so daß ich mich auf die Vorführung einiger Beispiele von thatsächlich ausgeführten Heizversuchen beschränken mußte. Dies wird aber allerdings auch für den vorgenannten Zweck vollständig hinreichen, indem ja eine eingehende Besprechung der verschiedenen Feuerungsanlagen den Rahmen des Buches strenge genommen überschreiten würde.

Von besonderer Wichtigkeit für den Praktiker erscheinen wohl die verschiedenen hauptsächlich im Anhange enthaltenen Tabellen, die bei Anstellung von Heizversuchen theils ganz unentbehrlich, theils aber mindestens höchst wünschenswerth

sein dürften. Hier glaubte ich möglichste Vollständigkeit anstreben zu sollen, da die eigene Erfahrung gezeigt hatte, wie schwer es oft ist, sich in der Praxis einzelne Daten, die man bei derartigen Versuchen benöthigt, zu verschaffen.

Ob die erstrebte Vollständigkeit dieser Tabellensammlung für alle Fälle erreicht sein wird, läßt sich schwer im Voraus angeben, da die Fälle, in welchen calorische Untersuchungen der hier besprochenen Art angestellt werden können, äußerst zahlreich und verschiedenartig sind.

Um den Gebrauch dieser Tabellen zu erleichtern, ist am Schlusse des Werkes ein alphabetisches Inhaltsverzeichniß angehängt.

Indem ich nun das Buch der Oeffentlichkeit übergebe, hoffe und wünsche ich damit den Anstoß zur häufigen Anstellung von Heizversuchen und somit zur Erlangung einer genauen Kenntniß der Wärmeverwendung unserer Heizungsanlagen gegeben zu haben, worauf sich ja erst rationelle Verbesserungen derselben begründen lassen, welche wieder oft namhafte Ersparungen für die Industrie bewirken.

Mögen sich diese Wünsche und Hoffnungen erfüllen!

Der Verfasser.

Inhalt.

Druckfehler:

Pag. 369	Zeile 15	von unten,	letzte Spalte	lies	525·4768	statt	525·4676.
„ 380	„ 5	„	„	„	Pyroxen	„	Pyrosen
„ 443	„ 28	„	„	„	CaF_2	„	CuF_2
„ 458	„ 17	„ oben		„	Paratoluidin	„	Paratolnidin.



Einleitung.

Zweck und Nutzen der Untersuchungen. Allgemeines hierüber; die verschiedenen Arten der Wärmeverwendung und Feuerungsanlagen.

Bei dem heute allgemeinen Bestreben so viel als thunlich zu sparen, d. h. einen bestimmten Zweck mit dem möglichst geringen Aufwand an Zeit, Kraft und Material (also an Geld) zu erreichen, ist es fast überflüssig sich eines Breiteren über den Zweck und Nutzen der Untersuchung von Feuerungsanlagen aller Art auszusprechen. Wenn wir es dennoch thun, so geschieht es nicht zu dem Zwecke, um solche, welche gegen jede einigermaßen wissenschaftliche Behandlung technischer Fragen im Voraus eingenommen sind (und deren gibt es selbst heut zu Tage noch genug) von der Nützlichkeit derartiger Untersuchungen zu überzeugen, denn dies gelingt kaum anders, als durch ihren eigenen Schaden, der sie auch sicher — dem deutschen Sprichworte getreu — über kurz oder lang klug machen wird. Wir wollen, und zwar auf die Gefahr hin Eulen nach Athen zu tragen, den Zweck und Nutzen der Untersuchungen von Feuerungsanlagen aus dem Grunde besprechen, weil uns hierdurch am leichtesten Gelegenheit geboten wird, eine Übersicht über das gar nicht so eng begrenzte Gebiet, welches wir im Folgenden zu studiren haben, zu erlangen.

Aus dem schon oben angedeuteten Bestreben, einen bestimmten Zweck mit dem möglichst geringsten Aufwand an Zeit, Kraft und Materiale — somit auch an Geld — zu erreichen folgt unmittelbar der Wunsch, sich über die mehr oder weniger

günstige Ausnützung der aufgewendeten Materialien, Arbeit und Zeit Rechenschaft zu geben oder mit anderen Worten einen Ausdruck zu finden, welcher diese Ausnützung ziffermäßig zu beurtheilen gestattet. Dies erreicht man am Einfachsten durch Ermittlung des sogenannten Nutzeffectes, das ist jener Zahl, welche die Leistung (L) in Procenten des Aufwandes (A) an Zeit, Arbeit, Material ꝛc. darstellt, und welche wir ganz allgemein durch die Gleichung:

$$\eta = \frac{100\ L}{A}$$

zum Ausdrucke bringen können. Selbstverständlich müssen L und A gleichartige Größen sein.

In unserem Falle, wo es sich um den Nutzeffect von Feuerungsanlagen aller Art handelt, müssen selbstverständlich beide Größen d. i. sowohl alle nutzbar gemachte Wärme als die der Feuerungsanlage direct durch Brennmateriale und Verbrennungsluft, und die durch ersteres indirect (d. i. durch das Vermögen des Brennmateriales bei seiner Verbrennung eine gewisse Wärmemenge zu erzeugen) zugeführten Wärmequantitäten in demselben Maße, also in Wärmeeinheiten ausgedrückt werden.

Sind auf diesem Wege allerdings Daten gewonnen, welche ein ziffermäßiges Urtheil über die Güte der verschiedenen Feuerungsanlagen gestatten, so muß andererseits doch eingestanden werden, daß die Angabe des Nutzeffectes einer Feuerungsanlage strenge genommen nicht viel mehr bedeutet als die Angabe des Verkaufs- oder Erzeugungspreises einer Waare. Dieser Vergleich zwischen dem Nutzeffect einer Feuerungsanlage und dem Erzeugungspreise einer Waare ist übrigens ein so zulässiger, daß wir ihn noch etwas weiter verfolgen wollen.

Hätten wir zwei Feuerungsanlagen gleicher Art (also z. B. zwei Dampfkesselfeuerungen) mit einander zu vergleichen, von denen die eine beispielsweise 80%, die andere 50% Nutzeffect geben möge, so ist unzweifelhaft die erstere die rentablere, d. h. die billigere. Hätten wir anderseits zwei Fabriken zu beurtheilen, welche dieselbe Waare erzeugen, und wäre der Erzeugungspreis von — sagen wir einer Tonne derselben in der einen Fabrik 800 fl., in der anderen nur 500 fl., so ist offenbar die zweite Fabrik die billiger arbeitende. Nun kommt

aber ein kleiner Unterschied. Die beiden Fabriken, welche dieselbe Waare zu verschiedenen Erzeugungspreisen liefern, brauchen demungeachtet noch nicht Waaren von gleicher Qualität zu liefern, während die Leistung der Feuerungsanlagen in beiden Fällen allerdings auch wenigstens nahe von gleicher Qualität sein müssen. Dies wird uns sofort klar, wenn wir bedenken, daß die Waare, welche uns die Feuerungsanlagen liefern, „Wärme" ist, deren Quantität durch die Anzahl der nutzbar gemachten Wärmeeinheiten gegeben ist, während ihre Qualität durch die Höhe der erzeugten Temperatur repräsentirt wird. Handelt er sich z. B. um die Schmelzung eines Metalles, so muß nothgedrungen die erzeugte Temperatur mindestens so hoch sein, als der Schmelzpunkt desselben, denn wäre dies nicht der Fall, so würde das Metall nicht geschmolzen, und wir hätten somit keinen Nutzeffect erzielt.

Ist umgekehrt die erreichte Temperatur erheblich höher als unmittelbar nothwendig (also in unserem Beispiele als der Schmelzpunkt des Metalles), so wird die Wärmeausnützung rascher erfolgen und (da im obigen Beispiele hierdurch die Schmelzung rascher erfolgt, mithin in derselben Zeit eine größere Menge des Metalles geschmolzen werden kann) in Anbetracht dessen eine Brennmaterialersparniß erzielt werden. Die höher gesteigerte Temperatur bedingt aber andererseits wieder eine bedeutende Steigerung der Wärmeverluste (durch Leitung, Strahlung, Essenzug 2c. — worüber später eingehender gesprochen werden soll), so daß im allgemeinen — wenn die Unterschiede in der erreichten Temperatur und in der Construction der Feuerungsanlagen nicht gar zu erheblich sind — das Urtheil über die Rentabilität der Feuerungsanlagen und ihre relative Güte wohl kaum erheblich modificiert wird.

Nach dem oben Gesagten hat die alleinige Angabe des Nutzeffectes einer Feuerungsanlage einen sehr bedingungsweisen, ich möchte sagen: einen nur rechnungsmäßigen Wert.

Soll hingegen die Untersuchung einer Feuerungsanlage den möglichst größten Werth für die Praxis erlangen, so darf sie sich nicht auf die Ermittlung des Nutzeffectes allein beschränken, sondern muß auch die Procentgrößen der unausgenützt verloren gegangenen Wärme, und zwar getrennt für jede einzelne Kategorie der vorhandenen Wärmeverluste zu ermitteln

trachten. Erst eine Vergleichung dieser Zahlen unterstützt von einer hinreichenden Erfahrung bietet die Möglichkeit, die Ursachen zu ergründen, welche eine Vergrößerung der verschiedenen Gattungen von Wärmeverlusten, respective die Verkleinerung des Nutzeffectes hervorrufen, und erst wenn diese erkannt wurden, ist eine rationelle Verbesserung der Feuerungsanlagen, somit eine Ersparniß möglich.

Feuerungsanlagen gibt es nun sehr verschiedenartige, und es ist wohl am Platze eine allgemeine Definition hiefür aufzustellen. Wir können dieselbe etwa in folgende Fassung bringen:

Feuerungsanlagen im weiteren Sinne sind alle jene Vorrichtungen sammt den zu deren Betrieb nöthigen Materialien (Brennmateriale und Verbrennungsluft), welche dazu dienen, Wärme zu erzeugen und diese an einem bestimmten Orte und zu einem bestimmten Zwecke nutzbar zu machen.

Hiernach gehören zu den Feuerungsanlagen alle zum Heizen von Wohn- und Versammlungsräumen dienenden Apparate und Einrichtungen ebenso, wie die Anlagen zur Verdampfung von Wasser und anderen Flüssigkeiten (Kesselheizungen, Abdampf- und Destillirapparate, Trockenanlagen ꝛc.), zum Schmelzen von Metallen (Schmelzöfen der verschiedensten Art) zur Durchführung trockener Destillation (Gasöfen und Gasgeneratoren) und zur Erzielung anderer chemischer Processe mit Hilfe der Wärme (Hochöfen ꝛc. ꝛc.) oder wie die Thermoelemente, bei welchen die Wärme zur unmittelbaren Erzeugung von Elektricität dient.

Da es überdies vollkommen gleichgiltig ist, durch welche Mittel die zu verwerthende Wärme selbst erhalten wird, umfaßt der Begriff „Feuerungsanlagen im weiteren Sinne“ auch alle jene Vorkehrungen, durch welche Wärme nutzbar gemacht werden soll, sei dieselbe auch nicht durch Verbrennung, sondern auf ganz beliebigem Wege gewonnen worden. Strenge genommen gehören somit auch der elektrische Schmelzofen von Siemens, der Cowles-Ofen (zur Aluminiumgewinnung auf elektrischem Wege), ja sogar die elektrischen Beleuchtungsanlagen ꝛc. ꝛc. hierher.

Daß aber nicht nur die angewendeten Apparate allein, sondern auch die zur Wärmeerzeugung verwendeten Materialien: Brennstoffe und Verbrennungsluft unumgänglich zu dem Begriffe „Feuerungsanlagen im weiteren Sinne“ gehören, geht wohl daraus hervor, daß man je nach der Art der Wärme liefernden Materialien (wozu im weitesten Sinne und bildlich hier auch die Elektricität zu rechnen wäre) verschieden construirte Apparate verwendet.

Im engeren, meist gebräuchlichen Sinne versteht man unter „Feuerungsanlagen“ jene Vorrichtungen, mittelst welcher am Wege der Verbrennung Wärme erzeugt und diese zu irgend einem Zwecke nutzbar gemacht wird.

Aus dem Begriffe „Feuerungsanlagen“ ergeben sich auch von selbst die Eintheilung derselben in verschiedene Kategorien, die jedoch je nach dem zu Grunde gelegten Eintheilungsprincipe eine verschiedene sein muß.

I. Eintheilung der Feuerungsanlagen nach der Quelle der nutzbar zu machenden Wärme.

A) Die Wärme wird erzeugt:

a) durch chemische Processe (also durch Umwandlung potentieller Energie in Wärme) u. zw.

α) durch eigentliche Verbrennung

1. fester
2. flüssiger
3. gasförmiger

} Brennstoffe (Feuerungsanlagen im engeren Sinne.)

β) durch sonstige chemische Processe (bis jetzt für sich allein — außer bei Feuerwaffen und Minen — nirgends angewendet, obwohl sie neben anderen nicht gar so selten auftreten);

b) durch Umwandlung anderer kinetischer Energieformen in Wärme, wie Elektricität (in Siemens elektrischem Schmelzofen, im Cowles-Ofen rc. rc.) mechanische Energie (bei Panzergeschossen, Zündhütchen rc.) u. s. w.

B) Es wird schon vorhandene Wärme nutzbar gemacht (Sonnenwärme, Abdampf rc.)



II. Eintheilung der Feuerungsanlagen je nach dem Zwecke, zu welchem die Wärme dienen soll.

Die Wärme wird verwendet:

A) Zur Erwärmung von Wohn- und anderen Räumen,

a) hierbei wird jeder einzelne Raum für sich geheizt (Feuerbecken, Kamine, Öfen, Gasheizung),

b) mehrere Räume werden von einer Centralanlage aus geheizt (Centralheizung). Man unterscheidet hier:

α) Luftheizung

β) Wasserheizung

1. Warmwasser- oder Niederdruckwasserheizung;
2. Heißwasser- oder Hochdruckwasserheizung;

γ) Dampfheizung.

B) Zur Erwärmung von Wasser auf eine unter dessen Siedepunkt liegende Temperatur. Hierher gehören die auch schon oben erwähnten Wasserheizungen, dann Anlagen zur Erwärmung von Wasser für Bäder, Extractionsapparate ꝛc.

C) Zur Verdampfung von Flüssigkeiten, und zwar

a) von Wasser

α) mit dem Zwecke hochgespannten Dampf zu erzeugen (Kesselfeuerungen);

β) ohne die Erzeugung hochgespannter Dämpfe anzustreben. Es dominirt hier die Absicht, vorhandenes Wasser zu entfernen. (Trockenanlagen und Abdampfapparate);

b) von anderen Flüssigkeiten (Destillirapparate — Abdampfapparate.)

D) Zur Schmelzung fester Substanzen (Schmelzöfen der verschiedensten Art).

E) Zur Verflüchtigung fester Substanzen (Sublimirapparate).

F) Zur Bewerkstelligung trockener Destillation. (Hierher gehören die wichtigen Apparate zur Erzeugung von Leucht- und Heizgas, die Gasgeneratoren ꝛc. ꝛc.)

G) Zur Durchführung der verschiedenartigsten chemischen Reactionen. (Hierher gehören die zahlreichen Röstöfen, Hochöfen, Blei-, Kupfer-Oefen ꝛc. und noch viele andere Apparate.

H) Zur Ausdehnung der gas- und dampfförmigen Producte jener chemischen Reactionen, welche die hiezu erforder-

liche Wärme produziren, mit der Absicht mechanische Kräfte zu gewinnen (Gasmaschinen, Feuerwaffen, Minen.)

J) Zur Erzeugung von Licht, indem die Wärme dazu verwendet wird, Körper zum Glühen zu bringen (Beleuchtungs-apparate und Anlagen.)

Obwohl es uns weitaus an Raum gebricht, eine ausführliche Besprechung sämmtlicher Arten von Feuerungsanlagen zu liefern, sollen doch in der Folge die wichtigsten derselben eine wenn auch nur skizzenhafte Besprechuug erfahren. Vorläufig aber wollen wir eine Uebersicht jener Daten geben, deren Bestimmung eben die Aufgabe der Untersuchung von Feuerungsanlagen bildet.

Da es unmöglich ist, die ganze Wärmemenge zu bestimmen, welche eine Feuerungsanlage besitzt, müssen wir ein gewisses Wärmeniveau annehmen, von welchem aus wir den jeweiligen Wärme-Inhalt der Feuerungsanlage messen. Dieses Wärmeniveau wird gekennzeichnet durch eine beliebig zu wählende Temperatur, doch muß dieselbe aus praktischen Gründen so niedrig angenommen werden, daß sie stets tiefer liegt als die während des Betriebes in der Anlage vorhandene Temperatur. Man wählt als Ausgangstemperatur für die Untersuchung von Feuerungsanlagen ganz allgemein jene des schmelzenden Eises und versteht unter Wärme-Inhalt der Feuerungsanlage jene Wärmemenge, welche dieselbe während ihrer Prüfung mehr enthält als wenn ihre Temperatur 0° wäre.

Hier sei gleich ein für allemale erwähnt, daß im Folgenden alle Temperaturangaben — wo es nicht besonders bemerkt ist — in Celsius-Graden gemacht sind.

Um die Untersuchungen zu vereinfachen, sowie auch um ein klareres Bild über den eigentlichen Betrieb der Anlagen zu gewinnen, wird, wo es irgend möglich ist, die Untersuchung begonnen, wenn die Feuerung schon vollständig angeheizt ist, und abgeschlossen, wenn sich dieselbe so viel als möglich in demselben thermischen Zustande befindet, wie zu Anfang des Versuches. Nur in jenen Fällen, wo es sich um das Studium des Verhaltens der Anlage während des Anheizens handelt, oder wo die Feuerungsanlage zur Erreichung eines bestimmten Zweckes jedesmal neu angeheizt werden muß, wird auch diese Periode in die Untersuchung einbezogen, doch ist es auch

dann, wo nur immer möglich, zweckmäßig, den Versuch so anzuordnen, daß eine getrennte Berechnung desselben für die Periode des Anheizens und für jene des eigentlichen Betriebes durchgeführt werden kann.

Die Berechnung bezieht man entweder auf eine Gewichtseinheit des verbrauchten Brennmaterials oder auf eine Gewichtseinheit des zu verarbeitenden Rohmaterials, oder auf die des erzeugten Productes oder endlich auf eine als Einheit gewählte, in der Anlage zu Disposition stehende Wärmemenge. Selten bezieht man den Versuch auf eine bestimmte Zeit — obwohl auch dies seine volle Berechtigung hätte — auf die Volumseinheit der Anlage oder (was in manchen Fällen von Nutzen ist) auf die gesammte der Feuerungsanlage während der einmaligen Durchführung der beabsichtigten Procedur zugeführte Wärmemenge.

Es ist nun die erste Aufgabe bei der Prüfung einer Feuerungsanlage, alle Wärmemengen zu ermitteln, welche derselben zugeführt wurden. Solche Quellen der Wärmezufuhr sind folgende.

a) Von Außen zugeführte Wärme

α) durch die Brennmaterialien zugeführte Wärme

β) „ „ Verbrennungsluft „ „

γ) „ den „Einsatz“ (d. i. durch das zu verarbeitende Materiale) zugeführte Wärme. Dieses zu verarbeitende Materiale ist je nach dem Zwecke welchem die Feuerungsanlage dienen soll, sehr verschieden; im Cupolofen z. B. ist es die in denselben eingesetzte Eisenmenge, welche geschmolzen werden soll, im Kalkofen ist es der Kalkstein, dessen Brennen bezweckt wird, bei der Dampfkesselfeuerung ist es das Wasser, welches in Dampf verwandelt werden soll 2c. 2c. Wie schon oben angedeutet, sind unter diesen von Außen zugeführten Wärmemengen jene zu verstehen, um welche der Wärme-Inhalt von Brennmateriale, Verbrennungsluft und Einsatz in Folge der Temperatur, mit welcher dieselben in die Feuerungsanlage treten, größer ist, als wenn sie mit der Temperatur des schmelzenden Eises in die Anlage gelangen würden.

Strenge genommen sollte zu den von Außen zugeführten Wärmemengen auch noch

δ) jene Wärmequantität gerechnet werden, welche die Feuerungsanlage vermöge ihrer ober 0° liegenden Temperatur besitzt, allein einmal ist die Durchschnittstemperatur der gesammten Feuerungsanlage — besonders wenn sie, wie meistens, zu Beginn des Versuches bereits angeheizt ist — kaum auch nur annähernd zu bestimmen; das Gleiche gilt auch von der Wärmecapacität derselben und überdies ließe sich die fragliche Wärmemenge, auch wenn die erwähnten Schwierigkeiten überwunden wären, nur dann in Rechnung stellen, wenn man den Heizversuch auf die ganze Feuerungsanlage und zwar für die totale Versuchsdauer beziehen würde. Wo dies nicht geschieht — was ja meistens der Fall ist — könnte die in Rede stehende Wärmequantität aus dem Grunde nicht in die Betrachtung einbezogen werden, weil man sie nicht gut auf die Gewichtseinheit Brennmaterial, Einsatz, oder Erzeugung 2c. repartiren kann. Ziffermäßig ließe sich diese Repartirung wohl vornehmen, allein sie hätte nicht die mindeste praktische Bedeutung, da ja nach Beendigung der Versuche nahe dieselbe Wärmemenge als noch in der Feuerungsanlage vorhanden in Ausgabe gebracht werden müßte. Man vermeidet eben Versuchsfehler, die aus dem besprochenen Umstande stammen, am besten, wenn man nach Möglichkeit zu erreichen trachtet, daß die Anlage zu Beginn und Ende des Versuches sich im gleichen Wärmezustande befindet. Wo dies nicht möglich ist — wie bei Heizversuchen, welche die Vorgänge beim Anheizen untersuchen wollen — sind auch hieraus entstehende Fehler unvermeidlich.

b) In der Feuerungsanlage producirte Wärmemengen:

α) Durch die vollständige Verbrennung des Brennstoffes producirte Wärmemenge;

β) durch chemische Vorgänge im Einsatze producirte Wärmemengen;

γ) durch Umwandlung anderer Energieformen entstandene Wärmemengen. Hierher ist zu rechnen die durch Umwandlung von Elektricität (z. B. im Cowles-Ofen) gelieferte Wärme ganz ebenso wie die beim Auftreffen

eines Panzergeschosses auf einen festen Körper aus der kinetischen Energie desselben abstammende Wärme oder die durch Volumveränderungen der Feuergase bewirkten Wärmeentwicklungen &c. &c.

Die Summe der unter a) und b) aufgeführten Wärmemengen stellt die gesammte in der Feuerungsanlage producirte Wärme dar.

Dieser totalen Wärmeproduction haben wir nun die Wärmeabgaben gegenüberzustellen, welche sich folgender Art zergliedern lassen:

a) Nutzbar gemachte Wärme (d. i. Nutzeffect der Feuerungsanlage) ist jene Wärmemenge, welche unmittelbar zu dem beabsichtigten Zwecke verwendet wurde.

b) Wärmeverlust durch unvollkommene Verbrennung der Brennmaterialien (resp. unvollkommene Umwandlung anderer Energieformen in Wärme).

α) Wärmeverlust durch im Rostdurchfalle auftretende unverbrannte Kohle. Diese Wärmeverluste kommen selbstredend nur bei Anwendung fester Brennmaterialien vor, und man nimmt zu ihrer Berechnung an, daß der Rostdurchfall nur aus Asche und Kohlenstoff bestehe. Sie sind übrigens oft sehr erheblich; so enthielt z. B. der Rostdurchfall einer Kesselfeuerung 66·80 % Kohlenstoff, und 33·20 % Asche und der Rostdurchfall eines Gasgenerators sogar 22·83 % Asche und 77·17 % Kohlenstoff.

β) Wärmeverluste durch das Entweichen brennbarer Gase.

γ) Wärmeverluste durch unvollkommene Transformation anderer Energieformen in Wärme.

δ) Wärmeverlust durch Bildung von Flugruß.

ε) Durch Umwandlung von Wärme in andere Energieformen verlorene Wärme. Hierher gehören jene Wärmemengen, welche zu Volumsveränderungen der Feuergase aufgewendet werden &c.

c) Durch Wärmeabgabe nach Außen verlorene Wärmemengen:

α) Durch die Temperatur des Rostdurchfalles verursachte Wärmeverluste. Dieselben lassen sich nicht genau ermitteln, da es einerseits nicht möglich ist, die Temperatur des Rost-



durchfalles scharf zu bestimmen, anderseits aber auch ein Theil der dem Rostdurchfalle innewohnenden Wärme durch Vorwärmen der zu den Rosten strömenden Verbrennungsluft wieder nutzbar gemacht wird.

β) Durch die Temperatur der Essengase verlorene Wärme. Diese Wärmeverluste müssen etwas nähere Betrachtung finden. Es ist nämlich unumgänglich nöthig, daß die Essengase eine gewisse Temperatur besitzen, da eben nur hierdurch der unentbehrliche Essenzug hervorgerufen werden kann — hierzu genügt jedoch im Allgemeinen eine Temperatur von etwa 200° C. und jene Wärmemenge, welche diese Temperaturerhöhung der Essengase bewirkt, kann eigentlich nicht als „Wärmeverlust" bezeichnet werden, wir möchten ihn als jene Wärmemenge definiren, welche **mittelbar** zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes verwendet wurde. Jede Erhitzung der Essengase über diesen Punkt hinaus stellt jedoch einen wirklichen, und zwar einen recht erheblichen Wärmeverlust dar, dessen Reduction eine der wichtigsten Aufgaben ist, zu deren Lösung eben die Prüfung von Feuerungsanlagen die Wege zeigen soll. Von besonderem Einflusse auf die Größe dieses Wärmeverlustes durch Essenzug, wie man ihn auch nennt, ist auch die Luftmenge, welche der Feuerungsanlage zum Zwecke der Verbrennung des angewendeten Heizstoffes zugeführt wird. Ist dieselbe zu klein, so ist die Verbrennung eine unvollständige und es ergeben sich hieraus (wie schon oben erwähnt) Wärmeverluste; ist hingegen die Luftmenge zu groß, so wird zwar eine vollständige Verbrennung erzielt, allein es müssen nicht nur die durch die Verbrennung gebildeten Gase, sondern auch noch der ganz unnöthige Luftüberschuß auf die Temperatur der Essengase erwärmt werden. Da nun auf je ein Gewichtstheil Sauerstoff etwa $3\,^1/_3$ Gewichtstheile Stickstoff in der Luft vorhanden sind, das Gewicht der Luft also ungefähr das $4^1/_3$fache des darin enthaltenen Sauerstoffes ist, repräsentirt ein verhältnißmäßig geringer Sauerstoffüberschuß schon einen sehr erheblichen Luftüberschuß; bewirkt somit auch eine bedeutende Steigerung des Wärmeverlustes durch Essenzug.

γ) Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung. Sie lassen sich in den seltensten Fällen directe ermitteln, sondern werden gewöhnlich als Differenz zwischen der gesammten Wärmeproduction und der Summe aller übrigen Wärmeentgänge dargestellt.

d) Wärmeentgang, hervorgerufen durch den Verbrauch gewisser Wärmemengen zur Bewerkstelligung solcher chemischer Processe, welche sich im Innern der Feuerungsanlage unter Wärmebindung vollziehen, gleichgiltig ob sie beim Betriebe der Anlage eigens beabsichtigt wurden, oder nicht. So eine chemische Reaction ist z. B. die Wasserzersetzung durch glühende Kohlen. In manchen Fällen wird dieselbe nun absichtlich herbeigeführt, um die Feuerungsgase Wasserstoffreicher zu machen (indem man beispielsweise den glühenden Rostdurchfall in Wasser fallen läßt, das hierdurch verdampft, durch den Rost strömt und beim Passiren der glühenden Kohlen zersetzt wird) während man in anderen Fällen diese Absicht zwar nicht hat, aber dennoch die gleiche Zersetzung zu leisten ist, indem theils von der Verbrennungsluft, theils mit dem (feuchten) Brennmateriale Wasser in die Feuerungsanlage gebracht wird. Ebenso ist die unvermeidliche Bildung von Ammoniak mit Wärmeverlusten verbunden.

In manchen Fällen, wie z. B. bei den Gasgeneratoren ist es zweckmäßig, die oben aufgezählten positiven und negativen Wärmekategorien in der nachfolgenden Weise zu gruppiren:

I. Wärmeproduction.

a) Durch chemische Processe in der Feuerungsanlage producirte Wärmemenge;

b) von Außen zugeführte Wärmemenge;

α) durch das Brennmaterial zugeführte Wärme;
β) „ die Verbrennungsluft „ „
γ) „ den Einsatz „ „

II. Wärmeverluste (Wärmeverwendung).

a) nutzbar gemachte Wärme (oder richtiger: direct nutzbar gemachte Wärme);

b) Wärmeverluste durch unvollkommene Verbrennung;

α) durch Kohlenentgang im Rostdurchfalle;

β) durch Bildung von solchen Producten, welche einer späteren Ausnützung der (gasförmigen) Verbrennungsproducte zur Wärmegewinnung entzogen werden (wie Theer, wo er condensirt wird —, Flugruß, Ammoniak) ꝛc.

c) Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung;

d) " " " Verbrauch von Wärme zur Durchführung gewisser chemischer Processe wie Ammoniak-Bildung ꝛc. (Es ist hier die zur Vollziehung der betreffenden chemischen Reactionen erforderliche Wärme, also beispielsweise die Bildungswärme des Ammoniak aus seinen Elementen oder die Zersetzungswärme des Wassers gemeint, während eben unter b β) jene Wärmemenge in Rechnung gezogen wurde, welche dadurch in Wegfall kommt, daß die betreffenden gebildeten Stoffe (der Theer, der Wasserstoff, das Ammoniak ꝛc.) der Verbrennung entzogen werden.

III. Wärmeleistungsfähigkeit der (gasförmigen) Verbrennungsproducte.

Es würde uns zu weit führen, noch weiter auf die verschiedene Anordnung der aus der Prüfung von Feuerungsanlagen gezogenen Resultate einzugehen; sie muß jedesmal dem Zwecke, welchem die Untersuchung dienen soll, angepaßt werden und ist somit am Besten der Überlegung des Prüfenden zu überlassen. Das bereits Gesagte dürfte als allgemeine Richtschnur hierzu genügen, und überdies wird sich im speciellen Theile noch Gelegenheit geben, einige Beispiele hierüber mitzutheilen.

Nachdem wir nun einen ungefähren Überblick über das ganze zu besprechende Gebiet gewonnen haben, wollen wir nun die eingehendere Besprechung desselben beginnen und die nachfolgende Reihenfolge einhalten:

I. Kurze Übersicht der physikalischen und chemischen Grundsätze, welche bei der Prüfung von Feuerungsanlagen hauptsächlich in Betracht kommen (Wärmelehre, Thermochemie, Elektricität, Theorie der Verbrennung und Vergasung ꝛc.)

II. Die Brennstoffe und die Verbrennungluft.



III. Die Apparate und Messungen, welche bei Heizversuchen in Anwendung kommen.

IV. Die Prüfung der Feuerungsanlagen im Besondern.

Anhang. Enthaltend verschiedene Hilfstabellen zur Anstellung von Heizversuchen.

Erste Abtheilung.

Kurze Übersicht der physikalischen und chemischen Grundsätze, welche bei der Prüfung von Feuerungsanlagen hauptsächlich in Betracht kommen.

I. Capitel.

Molekül und Atom. Elemente, Verbindungen, Mischungen, Energie, Wärme eine Form der Energie, Temperatur.

Da es uns zu weit führen würde, die hierher gehörigen Wissenszweige eingehend zu behandeln (dies soll soweit es die Technik interessirt in eigenen Bänden der chemisch-technischen Bibliothek geschehen) wollen wir uns hier darauf beschränken, die wichtigsten der in Frage kommenden Grundsätze, jedoch ohne alle Begründung in knapper Form mitzutheilen und ihre Anwendung, wo nöthig, durch Beispiele zu illustriren. Wir beginnen mit der Wärmelehre.

Nach den gegenwärtig allgemein herrschenden Ansichten kommt man am Wege der mechanischen Zerkleinerung (wenn man sich dieselbe soweit fortgesetzt denkt, bis auf diesem Wege eine weitere Zerkleinerung, selbst dazu geeignete Instrumente vorausgesetzt, unmöglich wird) auf Körpertheilchen, die wir als physikalisch untheilbar, d. h. also als die Bausteine betrachten müssen, aus welchen sich die Physik die Körper aufgebaut denkt. Wir nennen sie Moleküle. So besteht beispielsweise der Zinnober aus lauter Molekülen, deren jedes aber noch immer Zinnober ist. Nun wissen wir aber, daß

der Zinnober aus Schwefel und Quecksilber zusammengesetzt ist; es muß somit auch jedes Zinnober-Molekül noch aus Quecksilber und Schwefel bestehen. Können wir somit das Molekül auch nicht auf mechanischem oder selbst auf physikalischem Wege uns weiter zerlegt denken, so ist doch noch eine Zerlegung desselben durch chemische Mittel denkbar. Doch auch die chemische Zerlegung hat ihre Grenzen und führt uns endlich zum Begriffe eines Atoms (von 'ατομοις = untheilbar) als des kleinsten, auf keinerlei Weise weiter zerlegbaren Körperbestandtheils.

Denken wir uns nun umgekehrt vom Atom ausgehend, die Körper, wie sie uns umgeben, aufgebaut, so kommen wir zu folgendem Bilde: Mehrere Atome treten zusammen und bilden so eine selbständige Atomgruppe, das Molekül. Doch auch die Moleküle können sich zu enger aneinander geschlossenen Gruppen, sogenannten Molekulargruppen vereinen, und die Ansammlung mehrerer solcher gibt endlich die Körper. Dies ist die allgemeine Regel, von der jedoch Ausnahmen in der Art stattfinden können, daß einerseits Moleküle existiren, die nur aus einem Atom bestehen, und daß andererseits in gewissen Fällen die Moleküle als solche direkt — nicht erst nach ihrem Zusammentreten zu Molekulargruppen — die Körper zusammensetzen.

Besteht nun ein Körper durchaus aus gleichen Molekulargruppen (oder, wo diese fehlen, aus gleichen Molekülen), so nennen wir ihn homogen, im Gegensalle aber ein Gemenge. Bestehen überdies die Moleküle noch aus einer und derselben Art von Atomen, so ist er ein einfacher Körper, ein Element. Ein homogener Körper, dessen Moleküle aus verschiedenartigen Atomen bestehen, ist eine chemische Verbindung, während wir endlich einen homogenen Körper, dessen Molekulargruppen aus verschiedenartigen Molekülen bestehen, als Molekularverbindung bezeichnen.

Alle diese Körperbestandtheile nun sind nicht in Ruhe, sondern jeder derselben führt für sich gewisse Bewegungen aus. Es kann sich z. B. der ganze Körper als solcher bewegen (sei es in einer geraden oder beliebig krummlinigen oder gebrochenen Bahn vom Flecke oder er kann sich um seine Axe drehen. Gleichzeitig aber bewegen sich auch die Molekular-

gruppen; es bewegen sich auch die Moleküle, ja selbst die Atome. Aber nicht nur, daß sich die Körper und ihre verschiedensten Theilchen bewegen, treten hierbei auch noch andere, mehr bleibende Veränderungen auf: Ein Körper nämlich, der sich in einem beliebigen, bestimmten Zustande befindet, ändert sein Volum nicht, trotzdem alles an ihm in Bewegung ist. Ändert sich also auch die faktische Entfernung der Moleküle desselben fortwährend, so bleibt doch die mittlere Entfernung derselben insolange unverändert, als sich der Zustand nicht ändert, in welchem sich der Körper befindet.

In Folge ihrer gegenseitigen Anziehung haben die Moleküle (respective Molekulargruppen) der Körper das Bestreben, sich möglichst dicht aneinander zu lagern. Da eine derartige Aneinanderlagerung nun thatsächlich nicht zu Stande kommt, muß der gegenseitigen Anziehung der Moleküle eine Kraft entgegenwirken, oder mit anderen Worten, es muß eine bestimmte Arbeit geleistet werden, um die Moleküle eines Körpers in einer gewissen mittleren Entfernung von einander zu erhalten, und diese Arbeitsleistung erscheint uns noch von der Bewegung der Moleküle begleitet.

Erhalten wir nun einen beliebigen Körper unter demselben äußeren Drucke (also beispielweise dem Luftdrucke) und führen ihm nun Wärme zu, so vergrößert er sein Volum, d. h. er dehnt sich aus*). Eine Folge dieser Ausdehnung ist nothgedrungen die Vergrößerung der mittleren Entfernung der Moleküle und diese kann nur durch eine weitere Arbeitsleistung bewirkt werden. Gleichzeitig wächst aber auch die Schnelligkeit der Molekularbewegung.

Das eben Gesagte läßt erkennen, daß Wärme ein Ausdruck ist, welcher die Molekularenergie der Körper bezeichnet.

Bevor wir weiter auf das Wesen der Wärme eingehen können, müssen wir einige Definitionen vorausschicken, wobei wir uns im Allgemeinen an J. Clerk Maxwell halten wollen.

Kraft ist dasjenige, was in irgend einer Weise die Bewegung eines Körpers ändert oder zu ändern sucht, indem es

*) Mit wenig Ausnahmen.

entweder die Richtung oder die Geschwindigkeit der Bewegung verändert. Eine auf einen Körper wirkende Kraft wird durch das Moment der Bewegung gemessen, welches sie in ihrer eigenen Richtung in der Einheit der Zeit hervorbringt.

Das Moment der Bewegung wird wieder durch das Product seiner Geschwindigkeit in die Anzahl der in ihm enthalten Masseneinheiten gemessen.

Um Kräfte, welche im Gravitationsmaße angegeben sind, auf absolutes Maß zu reduciren, muß man die Zahl, welche die Kraft im Gravitationsmaße darstellt, mit der Größe der Schwerkraft an dem Orte der Beobachtung, ausgedrückt in demselben Maßsysteme multipliciren. Diese Größe der Schwerkraft bezeichnet man gewöhnlich mit g.

g ist die Zahl, welche die in einem fallenden Körper in der Einheit der Zeit hervorgebrachte Geschwindigkeit angibt; — es ist eine Zahl, welche das Doppelte des Weges angibt, den ein fallender Körper in der Einheit der Zeit zurücklegt; — es ist diejenige Zahl, welche das Gewicht der Masseneinheit in absolutem Maße ausdrückt. Bezogen auf den Meereshorizont und 45° Breite ist $g = 9 \cdot 80533$ Meter.**)

Arbeit wird geleistet, wenn irgend ein Widerstand überwunden wird und die Größe der geleisteten Arbeit wird durch das Product der den Widerstand leistenden Kraft in die Länge des Weges gemessen, durch den diese Kraft überwunden wird.

Man findet die Arbeitsleistung beim Heben eines Körpers, wenn man das Gewicht des Körpers mit der Hubhöhe multiplicirt.

Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten; sie wird also auch durch die Größe der Arbeit gemessen, welche eben geleistet werden kann. Als Maßeinheit für dieselbe gilt somit im Gravitationssysteme das Kilogramm-Meter. Pfaundler hat zur Übersicht der verschiedenen Arten der Energie das nachfolgende Schema aufgestellt:

**) Bei 0° Breite ist $g = 9 \cdot 78\ m$
„ 90° „ „ $g = 9 \cdot 83$ „



Energie.

Potentielle Energie (Energie der Lage, Spannkraft.)				Kinetische Energie (Energie der Bewegung, lebendige Kraft.)			
Energie der Lage sichtbarer Massen (Gravitation.) Energie einer gehobenen Last, eines Wassergefälles. Energie der Gravitation der Planeten zur Sonne, 2c.	Energie der Lage gleichartiger Moleküle. Energie der Elasticität, z. B. der gespannten Feder, des comprimirten Gases. Energie der Cohäsion, des Aggregatzustandes 2c.	Energie der Lage ungleichartiger Moleküle und Atome. Energie getrennter sich chemisch anziehender Atome, Energie der Brennstoffe, Energie getrennter Moleküle (Lösungsenergie.) Energie explosibler Verbindungen, des Schießpulvers 2c.	Energie der elektrischen und magnetischen Spannung.	Energie des elektrischen Stromes.	Energie der Bewegung des Äthers. Energie der Licht- und Wärme-Strahlen.	Energie der Bewegung sichtbarer Massen. Energie der fortschreitenden Bewegung. Energie des Windes und des bewegten Wassers, der abgeschossenen Kugel. Energie der relativen Bewegungen, der schwingenden, rotirenden Bewegungen. Energie des Pendels, des Schwungrades. Energie der Schallschwingungen.	Energie der Bewegung der Moleküle und Atome. Energie der fühlbaren Wärme.

Wenn eine Kraft K eine Masse M längs einer Wegstrecke s fortbewegt, und um diese Bewegung auszuführen, während des ganzen Weges einen bestimmten Widerstand überwinden muß und auch gerade zur Überwindung dieses Widerstandes hinreicht, so ist es klar, daß dieser Widerstand ebenso groß wie die Kraft K sein muß und daß während der Fortbewegung der Masse M eine Arbeit

$$L = K . s$$

geleistet wird. Würde dieselbe Kraft auf die Masse M wirken und dieselbe so längs des Weges s fortbewegen, daß hierbei nirgends ein Widerstand zu überwinden wäre, so würde die Masse am Ende des Weges die Geschwindigkeit v erlangen, und wir würden als Maß der von der Kraft geleisteten Arbeit in diesem Falle den Ausdruck $\frac{M . v^2}{2}$ erhalten. Da nun beide Leistungen einander gleich sein müssen kommen wir zu der Gleichung:

$$\frac{M . v^2}{2} = K . s.$$

Die in dem zweiten Falle geleistete Arbeit ist nicht verloren, denn wenn wir der Masse M mit der erlangten Geschwindigkeit v nun das Hinderniß K entgegensetzen, so ist sie im Stande dasselbe durch die Wegstrecke s hindurch zu überwinden, d. h. die Masse wird sich mit verzögerter Geschwindigkeit noch durch den Weg s hindurch fortbewegen, bis sie endlich zur Ruhe kommt. Die obige Gleichung ist somit für einen speciellen Fall der Ausdruck für einen der wichtigsten physikalischen Grundsätze, nämlich für das Princip der Erhaltung der Energie. Dieses lautet: Es ist unmöglich, sei es auch auf welchem Wege immer, Energie zu gewinnen oder zu verlieren: alle wahrnehmbaren Veränderungen beruhen einzig und allein auf Umwandlung der Formen, in welchen die Energie auftritt und auf der Übertragung von Energie von einem Körper auf den andern.

Wie schon aus dem oben mitgetheilten Schema hervorgeht, tritt die Energie in zwei Hauptformen auf, als Energie der Bewegung, auch kinetische oder actuelle Energie

genannt und die Energie der Lage oder potentielle Energie. Erstere haben wir gerade früher betrachtet; sie wird gemessen durch den Ausdruck $\frac{M.v^2}{2}$ letzter wird erhalten, indem man beispielsweise die Masse M auf die Höhe h hebt. Läßt man die Masse dann wieder um h fallen, so kann sie die Arbeit M h Meterkilogramm, welche zum Heben der Masse aufgewendet werden mußte, wieder leisten; sie hatte daher beim Heben auf h die potentielle Energie M h gewonnen.

Sehr schön läßt sich der Unterschied zwischen kinetischer und potentieller Energie an einem vertical in die Höhe geworfenen Steine erkennen. Um den Wurf zu bewirken, mußte demselben ursprünglich eine gewisse Energie der Bewegung $\left(\frac{M.v^2}{2}\right)$ ertheilt werden. Je höher nun der Stein in die Höhe fliegt, desto kleiner wird seine Geschwindigkeit und somit auch seine actuelle Energie indem am Wege nach aufwärts ein Theil derselben aufgezehrt oder richtiger gesagt in potentielle Energie umgewandelt wurde. Hat der Stein seinen höchsten Punkt erreicht, so ist seine Geschwindigkeit, also auch seine kinetische Energie = Null geworden, während gleichzeitig seine Energie der Lage ein Maximum erreichte. Von diesem Momente an beginnt der Stein mit stets wachsender Geschwindigkeit zu fallen. Hierbei verringert sich die potentielle Energie immer mehr, während die actuelle in einemfort wächst. Während der ganzen Bewegung bleibt jedoch die Summe der beiden Energieformen constant.

Das Princip von der Erhaltung der Energie war früher nicht bekannt, ja man glaubte, daß unter gewissen Umständen ein Theil der aufgewendeten Energie wirklich aufgezehrt d. h. zu Null werden könne. So glaubte man seinerzeit beispielsweise, daß durch die Reibung ein Theil der aufgewendeten Energie vernichtet werde, während man heute genau weiß, daß diese scheinbar verschwundene Energie in Wärme umgewandelt wurde und als solche zur Beobachtung gelangt.

Überhaupt sind wir im Stande die verschiedenen Energieformen, die wir kennen, in einander umzuwandeln; so können wir z. B. die Energie der sichtbaren Bewegung in Energie

der Wärme, des Lichtes, des Schalles oder der Electricität umsetzen.

Von den verschiedenen Energieformen interessirt uns nun in erster Linie die Wärme und so könne wir nun wieder an jene Stelle anknüpfen, von welcher wir die vorstehende Abschweifung machten.

Unsere modernen Ansichten über die Wärme lassen sich in Kürze wie folgt darlegen:

Wärme ist Bewegung der kleinsten Körpertheilchen, der Moleküle, oder richtiger, sie ist die Energie dieser Bewegung.

Bei Körpern im festen Aggregatzustande ist die lebendige Kraft der Molekularbewegung nicht groß genug, um die Molekularanziehung zweier benachbarter Moleküle zu überwinden. Die Bewegungen der Moleküle sind daher Schwingungen um ihre Gleichgewichtslage.

Führt man nun dem festen Körper Wärme zu, so treten folgende Erscheinungen ein: Mit zunehmender Temperatur ändert der Körper sein Volum, u. z. findet hierbei meistens Ausdehnung statt. Hiezu muß aber zunächst der äußere auf dem Körper lastende Druck (in gewöhnlichen Fällen der Luftdruck) überwunden werden und hierbei wird „äußere Arbeit“ (oder, wie sie G. Schmidt zweckmäßig bezeichnet hat, „äußere Verschiebungsarbeit“) geleistet. Verringert der Körper, wenn man ihm Wärme zugeführt hat, sein Volum, so wird diese Arbeitsgröße negativ.

Neben dieser äußeren Verschiebungsarbeit muß aber auch ein Theil der zugeführten Wärme dazu verbraucht werden, die Entfernung der Moleküle von einander zu vergrößern (oder allgemeiner ausgedrückt, zu verändern) also die gegenseitige Anziehung derselben zu verändern, oder wie man sich ausdrückt, innere Arbeit (G. Schmidt bezeichnet sie präciser als „innere Verschiebungsarbeit“) zu leisten. Nebenbei ist es auch möglich, daß durch die Wärmezufuhr eine Spaltung der Moleküle (Dissociation) eintreten kann, die dann ebenfalls einen Theil der inneren Arbeit bildet.

Ein dritter Theil der zugeführten Wärme endlich wird dazu verwendet, um die Temperatur des fraglichen Körpers zu erhöhen, d. h. die kinetische Energie seiner Moleküle zu ver-

größern, den G. **Schmidt** ganz passend „**innere Bewegungsarbeit**" nennt. Nur dieser letztere Antheil der dem Körper zugeführten Wärme ist auch in demselben als Wärme vorhanden; die übrigen Antheile wurden zu verschiedenen Arbeitsleistungen verbraucht, sie sind „als Wärme" verschwunden, oder wie man sagt „**latent**" geworden. Würde der Körper nun wieder auf seine Anfangstemperatur abgekühlt werden, so würde ihm nicht nur die dieser Temperaturabnahme entsprechende, in demselben thatsächlich als solche vorhandene Wärme entzogen werden, sondern auch jene, beim vorhergehenden Erwärmen auf verschiedene Arbeitsleistungen verbrauchten Wärmeantheile müßten ihm entzogen werden, wenn er nicht nur die Anfangstemperatur, sondern auch alle übrigen Anfangszustände (Druck, Volum 2c.) nach erfolgter Abkühlung wieder besitzen soll.

G. **Schmidt** unterscheidet endlich noch eine vierte Art, in welcher die auf einen Körper angewendete Energie (z. B. Wärme) zur Verwendung gelangen kann, nämlich zur Leistung der von ihm so genannten „**äußeren Bewegungsarbeit**," d. i. jene Arbeit, welche möglicher Weise zur Bewegung des Körpers als Ganzes geleistet worden sein konnte.

Hat der feste Körper bei fortgesetzter Wärmezufuhr eine bestimmte Temperatur (die jedoch von dem auf ihn wirkenden äußeren Drucke abhängt) erreicht, nämlich seine **Schmelztemperatur**, so bleibt diese weiterhin constant, bis der Körper, meist ebenfalls unter Volumsveränderung, in den flüssigen Zustand übergegangen ist. Es wird also die gesammte inzwischen zugeführte Wärmemenge, oder, was dasselbe ist, die ganze auf den Körper verwendete Arbeit in äußere und innere (Verschiebungs-) Arbeit umgewandelt.

Ist der Körper nun vollständig geschmolzen, so bewirkt eine weitere Wärmezufuhr abermals zum Theile äußere und innere Verschiebungsarbeit, zum Theile aber Temperaturerhöhungen (d. i. innere Bewegungsarbeit). Die Molekularbewegung im flüssigen Zustande ist aber nicht mehr ganz derselben Art wie im festen: im flüssigen Zustande vermag die lebendige Kraft der Moleküle die Anziehung zweier benachbarten Moleküle zu überwinden, wenn auch die lebendige Kraft eines einzigen Moleküles nicht im Stande ist, die Gesammt-

anziehung der übrigen Moleküle zu überwinden. Die Moleküle haben keine bestimmte Gleichgewichtslage mehr.

Hat bei fortgesetzter Wärmezufuhr der nun flüssige Körper die Temperatur seines Siedepunktes, (der bekanntlich ebenfalls vom äußeren Drucke abhängt) erreicht, so beginnt er zu sieden. Auch hierbei findet so lange keine Temperatursteigerung statt, d. h. alle zugeführte Wärme wird in äußere und innere (Verschiebungs-) Arbeit umgesetzt, als noch ein Theil des Körpers nicht verflüchtigt ist. Ist alles vergast, so bewirkt eine weitere Zufuhr von Wärme sofort wieder eine Temperaturerhöhung (innere Bewegungsarbeit) neben den beiden erwähnten Formen von Verschiebungsarbeit. Bei Gasen nun ist die Bewegung der Moleküle eine noch freiere als bei flüssigen Körpern. Die lebendige Kraft eines einzelnen Moleküles ist so groß, daß sie hinreicht, um die Gesammtanziehung aller übrigen Moleküle zu überwinden. Die einzelnen Moleküle bewegen sich geradlinig fort, bis sie an andere Moleküle, Wände ꝛc. anstoßen: Nach jedem Zusammenstoße prallen sie jedoch, u. zw. wie vollkommen elastische Körper,*) wieder ab und setzen ihren Weg ebenfalls geradlinig, aber in veränderter Richtung wieder fort.

Bei Gasen läßt sich nun nachweisen, daß *die mittlere lebendige Kraft ihrer Molekularbewegung ihrer vom absoluten Nullpunkte an gezählten Temperatur proportional ist*, d. h. *daß die mittleren lebendigen Kräfte der Molekularbewegung bei verschiedenen Gasen, aber gleicher Temperatur gleich groß sind.*

Bezeichnen wir das Gewicht eines Moleküles mit **M**, seine mittlere Geschwindigkeit mit $\overline{V}$, so ist:

$$\frac{M\overline{V}_0^2}{2} : \frac{M\overline{V}^2}{2} = 273 : T$$

oder

$$\overline{V}_0^2 : \overline{V}^2 = 273 : T$$

*) Dies ist allerdings strenge genommen unmöglich, doch würde uns ein näheres Eingehen auf diesen Umstand hier zu weit führen, und stimmen die aus obiger Annahme gezogenen mathematischen Ausdrücke mit der Erfahrung auch völlig genügend überein.

Hieraus folgt, daß, wenn die mittlere Geschwindigkeit der fortschreitenden Molekularbewegung eines Gases für eine Temperatur bekannt ist, dieselbe leicht auch für jede andere Temperatur berechnet werden kann.

Bezeichnen wir andererseits bei zwei verschiedenen Gasen die Molekulargewichte mit M und m, die mittleren Geschwindigkeiten der Moleküle für eine und dieselbe Temperatur jedoch mit $\overline{V}$, respectieve $\overline{v}$, so ist

$$\frac{M\,\overline{V}^2}{2} : T = \frac{m\,\overline{v}^2}{2} : T$$

oder

$$\frac{M\,\overline{V}^2}{2} = \frac{m\,\overline{v}^2}{2}$$

Es läßt sich auch die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle eines Gases für eine bestimmte Temperatur dann berechnen, wenn diese Größe für ein anderes Gas bei derselben Temperatur und wenn die Molekulargewichte beider Gase bekannt sind.

Um von der Größe dieser Geschwindigkeiten einen Begriff zu geben, mögen dieselben für einige Gase bei 0° C in Metern mitgetheilt werden:

Wasserstoff	V_o =	1844 *m*
Sauerstoff	=	461 „
Stickstoff	=	492 „
Kohlenoxyd	=	493 „
Kohlensäure	=	391 „

Daß das oben Gesagte auch bezüglich fester und flüssiger Körper gilt, läßt sich (nach Naumann) in folgender Weise erkennen.

„Kommen flüssige oder feste Körper mit Gasen von gleicher Temperatur in Berührung, so ändert sich die Temperatur nicht, wenn zwischen den sich berührenden Körpern keine chemische Einwirkung, keine beträchtliche Lösung oder Absorption stattfindet. Da nun bei verschiedener lebendiger Kraft der Molekularbewegung ein Ausgleich stattfinden müßte und hiermit im Allgemeinen eine Temperaturveränderung verbunden sein würde, so darf man den Schluß ziehen, daß die mittlere lebendige Kraft der Molekularbewegung auch für die festen und flüssigen Körper bei derselben Temperatur gleich derjenigen der Gase, und wie bei diesen der absoluten, von — 273° C. an gezählten Temperatur proportional ist.“

Setzt man die Masse des Wasserstoffatomes gleich der Einheit und bezeichnet sie mit H, so ergibt sich die mittlere lebendige Kraft des Wasserstoffmoleküles oder eines beliebigen anderen bei 0° C zu 3 400 336 Hm^2 und wir finden für die mittlere Kraft der Molekularbewegung der verschiedensten Körper bei verschiedenen Temperaturen die nachfolgenden Werthe:*)

Temperatur ° C.	mittlere lebendige Kraft eines Moleküles Hm^2	Temperatur ° C.	mittlere lebendige Kraft eines Moleküles Hm^2
— 200° C.	909 215	300° C.	7136 836
— 100° C.	2154 715	400° C.	8382 336
0° C.	3400 336	500° C.	9627 836
+ 50° C.	4023 986	750° C.	12741 586
100° C.	4645 836	1000° C.	15855 336
150° C.	5268 586	1500° C.	22082 836
200° C.	5891 336	2000° C.	28310 336

*) Um über diese Werthe eine genauere Vorstellung zu erhalten, dürfte es nicht uninteressant sein, an der Hand neuerer Forschungen einen Schritt weiter zu machen, obwohl natürlich derartige Betrachtungen selbstverständlich nur zu Näherungswerthen führen können. Nach van der Vaals enthält ein Kubikmillimeter eines Gases bei normalen Verhältnissen etwa 50,000,000,000,000,000 Moleküle. Da nun nach Bunsen (in Berlin) 1 cm^3 Wasserstoffgas 0·0896 Milligramm wiegt, beträgt das Gewicht eines Moleküles desselben nur 0·0896 : 50 000 000 000 000 000 000, das ist etwa 0·000 000 000 000 000 179 Milligramme!

Somit ergibt sich die mittlere lebendige Kraft eines Moleküles

bei	— 200° C.	zu	0·000 000 000 001 627	g	cm^2
„	— 100°	„ „	0·000 000 000 003 857	„	„
„	0°	„ „	0·000 000 000 006 087	„	„
„	+ 100°	„ „	0·000 000 000 008 316	„	„
„	500°	„ „	0·000 000 000 017 234	„	„
„	1000°	„ „	0·000 000 000 028 381	„	„
„	2000°	„ „	0·000 000 000 050 676	„	„

Oder es beträgt die lebendige Kraft der in einem Kubikcentimeter eines permanenten Gases bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand enthaltenen Moleküle (also von 50 000 000 000 000 000 000 Molekülen)

bei	— 200° C.	etwa	814 656	g	cm^2	(≗ 0·08	m^2	kg.)
„	— 100°	„ „	1 930 624	„	„	(≗ 0·19	„	„)
„	0°	„ „	3 046 701	„	„	(≗ 0·30	„	„)
„	+ 500°	„ „	8 626 141	„	„	(≗ 0·86	„	„)
„	1000°	„ „	14 206 381	„	„	(≗ 1·42	„	„)
„	1500°	„ „	19 786 221	„	„	(≗ 1·98	„	„)
„	2000°	„ „	25 366 061	„	„	(≗ 2·54	„	„)

II. Capitel.

Fortsetzung. — Schmelzpunkt, Siedepunkt. Ausdehnungs-Coefficienten. — Gesetz von Mariotte und Gay-Lussac.

Wie schon erwähnt, gehen die festen Körper mit steigender Temperatur in den tropfbarflüssigen Zustand über. Bei vielen Stoffen erfolgt dies bei einer bestimmten Temperatur (die man dann Schmelztemperatur oder Schmelzpunkt nennt) plötzlich, andere jedoch beginnen bei einer gewissen Temperatur erst zu erweichen, werden bei gleichzeitig steigender Temperatur immer weicher und erst bei noch höherer Temperatur flüssig. Solche Körper haben keinen eigentlichen Schmelzpunkt. Läßt man umgekehrt einen flüssigen Körper abkühlen, so erstarrt er u. zw. entweder ebenfalls plötzlich bei einer bestimmten Temperatur oder allmälig. Die Erstarrungstemperatur braucht jedoch durchaus nicht mit der Schmelztemperatur identisch zu sein.

Die Schmelz- (und Erstarrungs-)Punkte der praktisch wichtigsten, sowie einiger sonst interessanter Körper sind in Tafel I des Anhanges zusammengestellt.

R. Pictet hat zur annähernden Berechnung unbekannter Schmelzpunkte (in absoluter Temperatur) die Formel

$$T = \frac{4\cdot 5}{\alpha . \sqrt[3]{V}}$$

aufgestellt, worin T den Schmelzpunkt in absoluter Temperatur, α den linearen Ausdehnungscoefficienten und V das Atomvolumen, d. i. den Quotienten aus Atomgewicht und Dichte bedeutet.

Hiernach erhält man z. B. für

Körper	Atom-Gewicht A	specifisches Gewicht D	Atom-Volum $V = \frac{A}{D}$	linearer Ausdehnungscoefficient α	Schmelzpunkt T
Grafit	11·97	1·88	6·4	0·000 786	3200°
Diamant	11·97	3·50	3·42	0·000 118	25423°
Silicium	28	2·49	11·2	0·000 763	2660°



Selbstverständlich machen die so berechneten Schmelzpunkte keinen Anspruch auf Genauigkeit.

Als allgemeine Regel dient, daß die Schmelzpunkte der Legierungen stets niederer liegen als jener des schwerst schmelzbaren Bestandtheiles derselben, häufig sogar auch niedriger als die Schmelzpunkte sämmtlicher Bestandtheile der Legierungen.

In Kürze möge hier erwähnt sein, daß der Verfasser bezüglich der Schmelzpunkte fester Körper die nachfolgende Regelmäßigkeit auffand: dividirt man den in absoluter Temperatur angegebenen Schmelzpunkt Θ eines Körpers durch sein Molekulargewicht M, so erhält man den Factor Φ, mittelst welchem man also umgekehrt den Schmelzpunkt aus dem Molekulargewichte ableiten kann, nach der Gleichung

$$\Theta = M\,\Phi.$$

Dieser Factor Φ wird nun bei allen Körpern, deren kleinste Theilchen nach derselben Art angeordnet sind, um so größer, je kleiner ihr Molekulargewicht ist, und umgekehrt.

Nachstehende Beispiele werden dies am besten zeigen:

	Körper *)		Molekulargewicht	Schmelzpunkt in absoluter Temperatur	Φ
	A) Elemente.				
Bivalente Elemente mit (vielleicht) einatomigen Molekülen	Magnesium, Mg (?)		24	1023	42·30
	Kupfer, Cu (?)		63	1054	21·06
	Zink Zn		65	693	10·66
	Kadmium, Cd		111·8	588	5·27
	Quecksilber, Hg		200	234·5	1·17
Halogene	Brom, Br_2	Zweiatomige Moleküle	159·5	280·3	1·75
	Jod, J_2		253	387	1·52
Alkalien	Lithium, Li_2		14	453	32·36
	Natrium, Na_2		46	368·6	8·01
	Kalium, K_2		78	335·5	4·30
	Rubidium, Rb_2		161	311·5	1·93
	Cäsium, Cs_2		265·2	299·5	1·13

*) Die Anzahl der Atome im Molekül wurde bei festen Körpern gleich jener bei Gasen gesetzt, theilweise wurde aber auch nach analogem Verhaltene auf ähnliche Constitution der Moleküle geschlossen.

Körper		Molekulargewicht	Schmelzpunkt in absoluter Temperatur	Φ
Zweiatomige Moleküle	Aluminium, Al_2	54	873	16·16
	Gallium, Ga_2	69·9	303·15	4·33
	Indium, In_2	226·8	449	1·98
	Zinn, Sn_2	235	499·5	2·12
	Blei, Pb_2	413	608	1·47
	Gold, Au_2	392·4	1308	3·33
	Thallium, Te_2	408	561	1·37
	Mangan, Mn_2	110	2173	19·75
	Eisen, Fe_2	111·8	1873	16·75
	Nikel, Ni_2	116	1723 (?)	14·85
	Kobalt, Co_2	117·2	1773	15·12
	Kupfer, Cu_2 (?)	126	1327	10.53
	Ruthenium, Ru_2	207	2073	10·01
	Rhodium, Rh_2	208	2273	10·90
	Palladium, Pd_2	212·4	1973	9·29
	Iridium, Ir_2	385	2223	5·80
	Platin, Pt_2	389	2048	5·26
	Osmium, Os_2	390	2773 (?)	7·11
	Magnesium, Mg_2 (?)	47·9	1023	21·15
	Kupfer, Cu_2 (?)	126	1327	10·53
	Silber, Ag_2 (?)	216	1327	5·68
4-atom. Molek.	Phosphor, P_4	124	317·2	2·55
	Antimon, Sb_4	480	713	1·49
	Wismuth, Bi_4	830	540	0·65
6-atom. Molek.	Schwefel, S_6	192	388	2·02
	Selen, Se_6	474	490	1·03
	Tellur, Te_6	768	ca 726	0·94
	B) Verbindungen.			
Zweiatomige Moleküle	Chlorwasserstoff, ClH	36·5	$<$ 163	$>$ 4·46
	Bromwasserstoff, BrH	81	186·3	2·30
	Jodwasserstoff, JH	128	223	1·74
	Lithiumchlorid, LiCl	42·5	873	20·54
	Natriumchlorid, NaCl	58·5	1047	17·89
	Kaliumchlorid, KCl	74·5	1009	13·54
	Lithiumbromid, LiBr	87	820	9·42
	Natriumbromid, NaBr	103	983	9·54
	Kaliumbromid, KBr	119	974	8·18
	Rubidiumchlorid, RbCl	120	983	8·20
	Lithiumjodid, LiJ	134	ca 723	5·39
	Natriumjodid, NaJ	150	901	6·00
	Rubidiumbromid, RbBr	165	956	5·79
	Kaliumjodid, KJ	166	909	5·47
	Cäsiumchlorid, CsCl	203	904	4·45
	Rubidiumjodid, RbJ	212	915	4·31

	Körper	Molekulargewicht	Schmelzpunkt in absoluter Temperatur	Φ
Dreiatomige Moleküle	Cadmiumchlorid, $CdCl_2$	183	814	4·44
	Quecksilberchlorid, $HgCl_2$	271	561	2·07
	Cadmiumbromid $CdBr_2$	272	844(?)	3·10
	Quecksilberbromid, $HgBr_2$	360	517	1·43
	Cadmiumjodid, CdJ_2	366	677	1·84
	Quecksilberjodid, HgJ_2	454	514	1·13
	Magnesiumchlorid, $MgCl_2$	95	981	10·32
	Calciumchlorid, $CaCl_2$	111	994	8·95
	Kupferchlorid, $CuCl_2$	134	771	5·75
	Magnesiumbromid, $MgBr_2$	184	968	5·86
	Calciumbromid, $CaBr_2$	200	951	4·75
	Bleichlorid, $PbCl_2$	277·4	772(?)	2·78
	Calciumjodid, CaJ_2	294	904(?)	3·07
	Barymbromid, $BaBr_2$	297	1085	3·68
	Bleibromid, $PbBr_2$	366	772	2·78
	Bleijodid, PbJ_2	460	656	1·42
Vieratomige Moleküle	Kupferchlorür, Cu_2Cl_2	197	707	3·58
	Kupferbromür, Cu_2Br_2	286	777	2·71
	Kupferjodür, Cu_2J_2	380	874	2·30
	Molybdänsäureanhydrid, MoO_3	144	1032	7·16
	Antimontrichlorid, $SbCl_3$	226	345	1·52
	Jodtrichlorid, JCl_3	233·5	306	1·31
	Antimontribromid, $SbBr_3$	359	365	1·01
	Arsentrijodid, AsJ_3	475	419	0·88
	Antimontrijodid, SbJ_3	520	440	0·84
Fünfatomige Moleküle	Borsäureanhydrid, B_2O_3	70	850	12·14
	Natriummetaphosphat. $NaPO_3$	102	890	8·72
	Lithiumnitrat, $LiNO_3$	69	537	7·78
	Natriumnitrat, $NaNO_3$	85	592	6 96
	Kaliumnitrat, KNO_3	101	619	6·12
	Natriumchlorat $NaClO_3$	106·5	575	5·39
	Kaliumchlorat, $KClO_3$	122·5	632	5·15
	Natriumbromat, $NBrO_3$	151	654	4·33
	Kaliumjodat, KJO_3	214	833	3·88
Sechsatomige Moleküle	Lithiumcarbonat, Li_2CO_3	74	970	13·10
	Natriumcarbonat Na_2CO_3	106	1089	10·27
	Kaliumcarbonat, KCO_3	138	1109	8·03
	Kaliumperchlorat, $KClO_4$	138·5	883	6·37
	Rubidiumcarbonat, Rb_2CO_3	230	1110	4·82
	Kaliumperjodat, KJO_4	230	853	3·70
	Molybdänpentachlorid, $MoCl_5$	273	467	1.71
	Antimonpentachlorid, $SbCl_5$	297	267	0·90

	Körper	Molekulargewicht	Schmelzpunkt in absoluter Temperatur	Φ
7-atom. Molek.	Borsäure, H_3BO_3	62	458	7·38
	Lithiumsulfat, Li_2SO_4	110	1093	9·94
	Natriumsulfat, Na_2SO_4	142	1136	8·00
8-atomige Moleküle	Lithiumphosphat, Li_3PO_4	116	ca 1130	9·74
	Eisenchlorid, Fe_2Cl_6	325	580	1·78
	Galliumchlorid, Ga_2Cl_6	351	348·5	0·99
	Aluminiumbromid, Al_2Br_6	533	366	0·68
	Aluminiumjodid, Al_2J_6	814	398	0·49
9-atomige Moleküle	Calciumnitrat, $Ca(NO_3)_2$	102	834	8·17
	Barymnitrat, $Ba(NO_3)_2$	261	866	3·31
	Barymchlorat, $Ba(ClO_3)_2$	304	687	2·26
	Bleiphosphit, $Pb(PO_3)_2$	364	1073(?)	2.94

Da nun nach den Lehren der mechanischen Wärmetheorie Φ dem Quadrate der mittleren Geschwindigkeit der Moleküle in Momente des Schmelzens proportional ist, so scheint es, daß für feste Körper von gleicher Molekularconstitution die zur Schmelzung erforderliche mittlere Geschwindigkeit der Moleküle um so kleiner ist, je schwerer die Moleküle sind.

Noch ist zu erwähnen, daß die Schmelztemperatur, wenn auch in geringem Grade, von dem Drucke abhängig ist.

Der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand, das Verdampfen erfolgt (ebenso wie das Schmelzen) bei einer bestimmten (jedoch vom Drucke abhängigen) Temperatur, dem Siedepunkte. Die Tafel II des Anhanges enthält die Siedepunkte einiger wichtigerer Flüssigkeiten bei (nahezu) normalem Drucke.

Im Folgenden sei es gestattet eine vom Verfasser*) aufgefundene (der bei den Schmelzpunkten angeführten analoge) Gesetzmäßigkeit zwischen den Siedepunkten und den Molekulargewichten chemischer Verbindungen in Kürze zu skizziren.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Reihe chemischer Verbindungen, ihr Molekulargewicht, ihren Siedepunkt (vom absoluten Nullpunkt an gezählt) sowie die als „Factoren F" bezeichneten Quotienten aus Siedepunkt und Molekulargewicht.

---

*) Chemiker Zeitung 1884, p. 1837.

Chemische Formel	Molekulargewicht M.	Siedepunkt in absoluter Temperatur °	Factor F für							
			2	4	6 u. 8	3	5	7	Elemente ohne Halogene	Halogene
			atomige Moleküle							
Al_2Br_6	535	543	—	—	1·01	—	—	—	—	—
Se_6	474	973	—	—	—	—	—	—	2·05	—
Pb_2	414	1313	—	—	—	—	—	—	2·51	—
$SiHI_3$	410	493	—	—	—	—	1·20	—	—	—
$AsBr_3$	315	493	—	1·53	—	—	—	—	—	—
PBr_3O	287	468	—	—	—	—	1·62	—	—	—
PBr_3	271	448	—	1·65	—	—	—	—	—	—
$HgCl_2$	271	573	—	—	—	2·11	—	—	—	—
Al_2Cl_6	268	453	—	—	1·69	—	—	—	—	—
$SnCl_4$	260	393	—	—	—	—	1·51	—	—	—
I_2	254	473	—	—	—	—	—	—	—	1·86
BBr_3	250·2	363·5	—	1.45	—	—	—	—	—	—
$SbCl_3$	228·5	496	—	2·16	—	—	—	—	—	—
PCl_5	208·5	421	—	—	2·02	—	—	—	—	—
Hg	200	648·25	—	—	—	—	—	—	3·24	—
VCl_4	193·2	427	—	—	—	—	2·21	—	—	—
S_6	186	721·4	—	—	—	—	—	—	3·87	—
$AsCl_3$	181·5	405	—	2·23	—	—	—	—	—	—
VCl_3	173·7	399·7	—	2·31	—	—	—	—	—	—
$SiCl_4$	170·5	332	—	—	—	—	1·96	—	—	—
Br_2	160	331·6	—	—	—	—	—	—	—	2·07
CrO_2Cl_2	155·5	391	—	—	—	—	2·51	—	—	—
CCl_4	154	350	—	—	—	—	2·27	—	—	—
PCl_3O	153·5	383	—	—	—	—	2·49	—	—	—
PCl_3	137·5	351·3	—	2·55	—	—	—	—	—	—
$SiHCl_3$	135	309	—	—	—	—	2·29	—	—	—
S_2Cl_2	135	411	—	(3·04)	—	—	—	—	—	—
Cl_2O_4	135	291	—	—	2·17	—	—	—	—	—
AsF_3	132	336	—	2·54	—	—	—	—	—	—
HI	128	218	1·70	—	—	—	—	—	—	—
P_4	124	553	—	—	—	—	—	—	4·46	—
$SOCl_2$	119	351	—	(2·94)	—	—	—	—	—	—
Cl_2O_3 *)	119	273	—	—	—	—	2·29	—	—	—
BCl_3	117·1	291·2	—	2·48	—	—	—	—	—	—
Cd	112	1133	—	—	—	—	—	—	5·05	—
$HClO_4$	100·5	383	—	—	3·81	—	—	—	—	—
H_2SO_4	100	611	—	—	—	—	—	6·11	—	—
$COCl_2$	99	281	—	2·83	—	—	—	—	—	—
Cl_2O	87	293	—	—	—	3·36	—	—	—	—
$(NO_2)_2$	82	295	—	3·20	—	—	—	—	—	—
HBr	81	204	2·53	—	—	—	—	—	—	—

*) Die gemessene Dampfdichte stimmt nicht mit der berechneten.

Chemische Formel	Molekulargewicht M.	Siedepunkt in absoluter Temperatur	Factor F für							
			2	4	6 u. 8	3	5	7	Elemente ohne Halogene	Halogene
			atomige Moleküle							
		°								
AsH_3	78	269	—	3·45	—	—	—	—	—	—
K_2	78	973	—	—	—	—	—	—	12·47	—
CS_2	76	319	—	—	—	4·19*)	—	—	—	—
Cl_2	71	233	—	—	—	—	—	—	—	3·28
P_2H_4	66	303	—	—	4·59	—	—	—	—	—
NOCl	65·5	255	—	—	—	3·89	—	—	—	—
Zn	65	1202·6	—	—	—	—	—	—	18·36	—
SO_2	64	255	—	—	—	3·99	—	—	—	—
$(CN)_2$	52	252	—	4·84	—	—	—	—	—	—
Na_2	46	983	—	—	—	—	—	—	21·37	—
N_2O	44	185·1	—	—	—	4·20	—	—	—	—
H_2S	34	199	—	—	—	5·85	—	—	—	—
CNH	27	299·5	14·62	—	—	11·09	—	—	—	—
HF	20	292·5	—	—	—	—	—	—	—	—
H_2O	18	373	—	—	—	20·78	—	—	—	—
NH_3	17	238	—	14·00	—	—	—	—	—	—

Zieht man von den in der dritten Reihe gegebenen Siedepunkten in absoluter Temperatur den absoluten Schmelzpunkt des Eises (273°) ab, so erhält man die Siedetemperaturen in Graden Celsius.

Denkt man sich die Siedetemperatur (vom absoluten Nullpunkt gezählt) wie oben in ein Product aus dem Molekulargewichte und einem Factor zerlegt, und ordnet man die Körper in Gruppen, deren Moleküle aus einer gleichen Anzahl von Atomen besteht, so zeigt sich, daß die Factoren in jeder dieser Gruppen wachsen, wenn die Molekulargewichte fallen, und umgekehrt. Die wenigen vorhandenen Ausnahmen lassen sich wohl theilweise auf die Ungenauigkeiten in den Atomgewichts- und Siedepunkts-Bestimmungen, theilweise aber auch auf die verschiedene Art der Bindung zwischen den Atomen zurückführen, worauf wir jedoch hier nicht eingehen können. Merkwürdiger Weise bilden die Halogene einerseits, sowie die übrigen Elemente andererseits (letztere sogar ohne Rücksicht auf die Atomenzahl im Moleküle) je eine eigene Gruppe.

*) Mit zwei doppelten Bindungen.

Nach den Lehren der mechanischen Wärmetheorie ist die absolute Siedetemperatur der mittleren lebendigen Kraft der (geradlinigen) Molekularbewegung des entstehenden Dampfes, d. i. dem Ausdrucke

$$\frac{Mv^2}{2}$$

proportional. Dividirt man also die absolute Siedetemperatur durch das Molekulargewicht, so muß der Quotient (unser obigen Factor F) dem Quadrate der mittleren Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung der Dampfmoleküle proportional sein.

Wir kommen daher für unser Gesetz zu folgendem physikalischen Ausdrucke:

Bei Molekülen, welche aus einer gleichen Anzahl von Atomen (mit derselben Art der Bindung) bestehen, ist das Quadrat der mittleren Geschwindigkeit der Molekularbewegung, welche gerade hinreicht, um das Sieden der Flüssigkeit hervorzurufen, umso kleiner, je größer das Molekulargewicht ist.

Beiläufig sei hier noch erwähnt, daß bei organischen Körpern (homologen Reihen rc.) ganz merkwürdige Regelmäßigkeiten bezüglich der Unterschiede ihrer Siedepunkte und ihrer chemischen Zusammensetzung gefunden wurden.

Der Uebergang vom flüssigen in den gasigen Zustand erfolgt nicht allein beim Siedepunkte, sondern auch unterhalb desselben und wird in letzterem Falle als Verdunstung bezeichnet. Die auf die eine oder die andere Weise gebildeten Dämpfe zeigen nun eine gewisse Maximalspannung, welche mit der Temperatur wächst, und in dem Momente, wo die Flüssigkeit zum Sieden kommt, dem herrschenden Luftdrucke gleich ist. Die Temperatur, welche einer beliebigen Maximal-Dampfspannung entspricht, stellt umgekehrt den Siedepunkt der gegebenen Flüssigkeit bei einem, dieser Maximalspannung gleichen Drucke dar.

Angaben dieser Beziehungen liefern für einige wichtigere Substanzen die Tabellen III bis VII des Anhanges.

Außer den Aenderungen des Aggregatzustandes bewirkt aber die Wärme bekanntlich auch Volumveränderungen.

Bei festen Körpern hat man zunächst nicht die durch Wärmezufuhr bewirkte Volumvergrößerung derselben, sondern ihre lineare Ausdehnung gemessen und als lineare Ausdehnungscoëfficienten für das Temperaturintervall 0°—100° C. jene Zahl bezeichnet, welche angibt, um den wievielten Theil seiner bei 0° gemessenen Länge sich ein fester Körper ausdehnt, wenn er von 0° auf 100° erwärmt wird. Mittlerer Ausdehnungscoëfficient innerhalb desselben Temperaturintervalles ist die aus ersterem abgeleitete Größe, welche die durch eine Temperaturerhöhung um 1° (innerhalb der erwähnten Temperaturgrenzen) bewirkte durchschnittliche Vergrößerung der Längeneinheit eines Körpers angibt, eine Größe, welche also nur dann genau richtig wäre, wenn die Längenausdehnung der Körper den Temperaturzunahmen proportional wäre, was jedoch in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Aus dem Erwähnten geht nun ohneweiters hervor, daß der wahre Ausdehnungs-Coëfficient jene Zahl bedeutet, welche die der Temperaturerhöhung um 1° entsprechende thatsächliche Vergrößerung des Körpers zum Ausdrucke bringt. Daß derselbe — soweit er einen bestimmten Zahlenwerth besitzt — nur für eine ganz bestimmte Temperatur gilt, ist selbstverständlich. Für einzelne Körper wurden jedoch von verschiedenen Physikern empirische Formeln aufgestellt, welche der Veränderlichkeit dieser Ausdehnungscoëfficienten mit der Temperatur Rechnung tragen.

Die kubische Ausdehnung (also auch der kubische Ausdehnungscoëfficient) ist dreimal so groß als die lineare (respective als der lineare Ausdehnungscoëfficient).

Die Tabellen VIII bis XII des Anhanges enthalten die Ausdehnungscoëfficienten der wichtigsten festen Körper.

Bei flüssigen Körpern ist die Sache etwas complicirter, weil wir das Volum derselben nicht ohneweiters, sondern nur mittelst irgend eines Gefäßes messen können. Bei jeder Temperaturänderung ändert sich aber nicht allein das Volum der Flüssigkeit (absolute Ausdehnung), sondern auch das des Gefäßes, in welchem sie enthalten ist. Messen wir somit die Volumveränderung der Flüssigkeit in einem (etwa kubicirten) Gefäße, so erhalten wir nicht die wahre, sondern

nur die scheinbare Ausdehnung derselben. Wir unterscheiden demnach auch einen wahren und einen scheinbaren (aber hier immer kubischen) Ausdehnungs-Coëfficienten.

Hat Gefäß und Flüssigkeit bei 0° C. das Volum V_0 und werden beide nun auf t° erwärmt, so ist:
das wahre Volum der Flüssigkeit bei

$$t^0 = V_t' = V_0 \ (1 + \alpha \ t)$$

das Volum des Gefäßes bei

$$t^0 \text{ aber} = V_t = V_0 \ (1 + \gamma \ t)$$

wenn α und γ die Ausdehungs-Coëfficienten der Flüssigkeit, respective des Gefäßes darstellen.

Somit ergibt sich das scheinbare Volum der Flüssigkeit, wie es in dem, ebenfalls durch Ausdehnung vergrößerten Meßgefäße gemessen wird, mit:

$$\frac{V_0 \ (1 + \alpha \ t)}{1 + \gamma t}$$

oder annähernd mit $V_0 \ (1 + \alpha \ t - \gamma \ t)$
und die scheinbare Vermehrung des Flüssigkeitsvolums bei t_0 gegenüber dem bei 0° zu

$$\frac{V_0 \ (1 + \alpha t)}{1 + \gamma t} - V_0$$

oder annähernd zu $V_0 \ (\alpha - \gamma) \ t$.

Setzt man hierin das Anfangsvolum $V_0 = 1$, so erhält obiger Ausdruck die Form

$$\frac{\frac{V_0 \ (1 + \alpha \ t)}{1 + \gamma \ t} - V_0}{V_0} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \gamma t} - 1$$

oder näherungsweise $= (\alpha - \gamma)^t$
und hieraus ergibt sich der scheinbare Ausdehnungs-Coëfficient für 1° C.

$$\sigma = \frac{\frac{V_0 \ (1 + \alpha \ t)}{1 + \gamma \ t} - V_0}{V_0 \ t} = \frac{\alpha - \gamma}{1 + \gamma \ t}$$

oder angenähert : $\sigma = \alpha - \gamma$.

Hierher gehörige Daten enthalten die Tabellen XIII—XVII des Anhanges.

Bei gasförmigen Körpern müssen wir überdies auch noch auf den Druck Rücksicht nehmen, wodurch die Verhältnisse noch complicirter werden. Ueberdies muß man hier noch zwischen permanenten Gasen und Dämpfen unterscheiden, indem bei ersteren weit einfachere Gesetzen gelten als bei den letzteren.

Permanente Gase sind weit von ihrem Condensationspunkte entfernt und nähern sich daher einem sozusagen „idealen" Gaszustande, in welchem man ein Gas als vollkommenes Gas bezeichnet.

Dämpfe hingegen liegen ihrem Condensationspunkte nahe, weshalb sie auch bedeutende Abweichungen von den für die ersteren geltenden Gesetzen zeigen müssen.

Erwärmt man ein Gas bei constantem Drucke, so ändert sich sein Volum, man kommt also auf diesem Wege zu dem Begriffe Ausdehnungs-Coëfficient (α) der Gase. Erwärmt man es umgekehrt bei constantem Volum, so wächst die Spannung des Gases, und wir werden somit zu dem Begriffe Spannungs-Coëfficient (α') geführt, welcher durch die Gleichung

$$\alpha' = \frac{p_t - p_o}{p_o\, t}$$

definirt wird, in welcher t die fragliche Temperatur, p_o den Druck des Gases bei 0°, p_t den Druck desselben Gases bei ungeändertem Volum, jedoch bei der Temperatur t^o bedeutet.

Für vollkommene (ideale) Gase gilt nun das Gay-Lussac-Mariotte'sche Gesetz, das sich kurz mit den Worten ausdrücken läßt: Bei vollkommenen Gasen ist das Verhältniß zwischen dem Producte aus Volum (V) und Druck (P) und der absoluten Temperatur (T) unter allen Umständen unveränderlich. Dieses Gesetz findet seinen Ausdruck in den Gleichungen:

$$\frac{V\,P}{T} = R,$$

$$\frac{V\,P}{a + t} = R \text{ und}$$

$$\frac{V\,P}{1 + \alpha t} = R$$

worin R die Constante des Gay-Lussac-Mariotte'schen Gesetzes und $\frac{1}{\alpha} = a$ ist

Dieses Gesetz gilt jedoch nicht strenge für alle Gase (obwohl bei permanenten Gasen die Abweichungen nicht erheblich sind) auch hat Régnault gefunden, daß Ausdehnungs- und Spannungs-Coëfficienten mit steigendem Drucke etwas wachsen. (Siehe die Tafeln XVIII, XIX des Anhanges.)

III. Capitel.

Gay-Lussac-Mariotte'sches Gesetz, Reduction von Gasvolumen, Dalton'sches Gesetz, Poisson'sches oder potencirtes Mariotte'sches Gesetz.

Setzt man in den obigen Gleichungen die Werthe für die Temperaturen 0° und t° ein, so erhält man:

$$\frac{V_0 P_0}{a} = R \text{ und } \frac{V_t + P_t}{a + t} = R$$

also auch, da R eine Constante ist:

$$\frac{V_0 P_0}{a} = \frac{V_t P_t}{a + t}$$

oder

$$\frac{V_t P_t}{V_0 P_0} = \frac{a + t}{a}$$

als neuen Ausdruck für das fragliche Gesetz*), welcher die Ableitung der Volum-, Druck und Temperaturverhältnisse eines

*) Einen noch allgemeineren Ausdruck für dieses Gesetz erhalten wir, wenn wir die Gleichungen für die beiden variablen Temperaturen t und t_1 aufstellen:

$$\frac{V_t P_t}{a + t} = R \text{ und } \frac{V_{t_1} P_{t_1}}{a + t_1} = R$$

und mitsammen verbinden:

$$\frac{V_t P_t}{a + t} = \frac{V_{t_1} P_{t_1}}{a + t_1}$$

woraus folgt:

$$\frac{V_t P_t}{V_{t_1} P_{t_1}} = \frac{a + t}{a + t_1}$$

eine Gleichung, welche zur Berechnung beliebiger Druck-, Volum- und Temperatur-Verhältnisse eines Gases aus den zusammengehörigen Daten für Druck, Volum und Temperatur desselben Gases benützt werden kann.

permanenten Gases aus den für 0° C. geltenden oder umgekehrt der letzten aus ersteren Angaben gestattet.

Wir können diese Gleichung auch in die Form bringen:

$$V_0 = V_t \cdot \frac{P_t}{P_0} \cdot \frac{a}{a + t}$$

oder wenn man $\alpha = \frac{1}{a}$ setzt:

$$V_0 = \frac{V_t}{1 + \alpha t} \cdot \frac{P_t}{P_0}.$$

Diese Gleichungen dienen zur Reduction von Gasvolumen auf den Normalzustand, d. i. auf das Volum bei 760 *mm* Barometerstand und 0° C. Temperatur. Setzt man hierin den mittleren Ausdehnungs-Coëfficienten der permanenten Gase mit $\alpha = 0\cdot00367$, den normalen Barometerstand = 760 *mm* und endlich für den gemessenen Druck den Barometer- (resp. Manometer-) Stand b ein, so ist:

$$V^0 = \frac{V}{1 + 0\cdot00367\, t} \cdot \frac{b}{760}$$

während man für die Dichte d_0 des Gases bei 0° C. — wenn die Dichte desselben bei t^0 und b *mm* Barometerstand = d gesetzt wird, hat

$$d_0 = d\,(1 + 0\cdot00\,367\, t)\,\frac{760}{b}$$

Hilfstabellen für diese Berechnungen enthält der Anhang (Tafel XX—XXI), ferner für Reductionen der Gasvolume innerhalb des Temperaturintervalles von 0°—29° C. und des Druckintervalles von 690—770 *mm* Quecksilbersäule die sehr bequemen Tabellen XXII, XXIII des Anhanges.

Will man endlich das Gewicht eines Luftvolums bei verschiedenem Druck und Temperatur berechnen, so dienen hierzu die nachfolgenden Formeln:

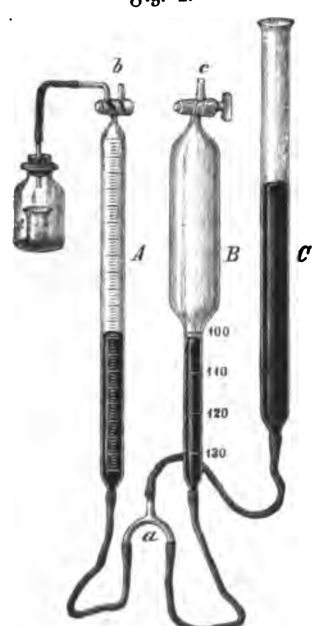
1 m^3 trockene Luft wiegt bei 760 *mm* Druck

$$= \frac{1\cdot2936}{1 + 0\cdot003667\, t}\, kg.$$

Bei der Temperatur t° C. und dem Drucke p *kg* per 1 *cm*² wiegt 1 *m*³ trockene Luft $= \frac{1 \cdot 252 \, p}{1 + \alpha t}$ *kg*.

Die Tabellen XXIV—XXXVI des Anhanges enthalten hierher gehörige Angaben sowie bei der Benützung des Barometers überhaupt dienliche Hilfstabellen.

Fig. 1.



Zur Umgehung aller Reductionsrechnungen bei Ablesung von Gasvolumen und Reduction derselben auf 0° und 760 *mm* Druck hat G. Lunge einen eigenen Apparat construirt, den er Gasvolumeter benennt*) Der Gasmeßapparat wird durch ein Dreischenkelrohr gleichzeitig mit einem verstellbaren „Druckrohre" und mit einem „Reductionsrohre" verbunden, in welch letzterem ein solches Volum Luft abgesperrt ist, daß dasselbe bei Compression auf den Theilstrich 100 genau 100 (oder 50 ꝛc.) *cm*³ trockener Luft von 0° und 760 *mm* Druck entspricht. Als Sperrflüssigkeit ist Quecksilber zu verwenden. Nach Beendigung der analytischen Operation im Gasmeßrohre wird das Reductionsrohr und das Druckrohr so eingestellt, daß das Quecksilber in ersterem auf 100 steht, dabei aber das Niveau mit demjenigen im Gasmeßrohre in eine Wagrechte fällt. Dann sind in beiden Rohren die Gase unter genau gleichen Druck gebracht, u. zw. ist derselbe ein solcher, daß das Volum dem der trockenen Gase bei 0° und 760 *mm* entspricht.

Fig. 1 zeigt ein Beispiel des Apparates, der natürlich in seinen einzelnen Theilen vielfache Abänderungen zuläßt.

---

*) Berichte der deutschen chem. Gesellschaft 1890, Bd XXIII, p. 440; Chemisches Repertorium (Chemiker-Zeitung) 1890, Nr. 9.

A ist das beliebige Gasmeßrohr, B ist der Gasvolumreductionsapparat, der hier eine cylindrische, sonst aber auch eine kugelförmige Erweiterung haben kann. Unterhalb derselben findet sich der Theilstrich für 100 *cm*³ und ist die Theilung noch bis 130 *cm*³ fortgesetzt. C ist das Druckrohr Die Rohre A und B sollen möglichst gleiche Weite haben.

Zur ersten (einmaligen) Einstellung des Reductionsrohres B werden die Hähne b und c geöffnet und Quecksilber in C eingegossen unter Vermeidung von Luftblasen. Zugleich führt man, um die eingeschlossene Feuchtigkeit mit Luft zu sättigen, ein Tröpfchen Wasser ein, aber nicht so viel, daß die Quecksilberkuppe davon bedeckt würde. Nun beobachtet man das Thermometer und Barometer, zieht von dem Stande des Letzteren die der Ausdehnung des Quecksilbers (1—3 *mm*) und der Tension des Wasserdampfes bei der Beobachtungstemperatur entsprechende Höhe ab und berechnet nun, auf welches Volum 100 *cm*³ eines Gases bei diesen Temperatur und Druckbedingungen ausgedehnt werden würden. Sodann hebt oder senkt man C, bis die Quecksilberkuppe in B auf der Zahl steht, welche die Ausdehnung von 100 *cm*³ trockener Luft von 0° und 760 *mm* auf die Tagesbedingungen von Temperatur und Luftdruck, beziehungsweise Wasserdampfspannung anzeigt, und schließt Hahn c.

Die Analyse selbst wird in üblicher Art mit dem Gasmeßrohre A und dem Druckrohre C vorgenommen, wobei nur in dem Rohre B das Quecksilber nie bis unter das Schenkelrohr a sinken darf, was nur bei groben Versehen vorkommen kann. Nach der Entwicklung des Gases und eventuellen Abkühlung desselben auf Zimmertemperatur werden B und C so gestellt, daß das Quecksilber in B auf den Theilstreich 100 kommt und bewegt man dann am besten gleichzeitig B und C bis die Niveaus in A und B vollkommen gleich stehen. Man hat dann also in A genau wie in B das Gas auf dasjenige Volum gebracht, welches es in trockenem Zustande bei 0° und 760 *mm* einnehmen würde und erfährt dieses Volum durch bloße Ablesung in A ohne irgend welche Rechnung und ohne Beobachtung von Thermometer und Barometer. — Wird, wie bei Bestimmungen von Kohlensäure, Ammoniak, Stickstoff, activem Sauerstoff des Braunsteins, Chlorkalkes rc. ein Gas in

einem besonderen Fläschchen e entwickelt (siehe Abbildung), welches Luft nach A hinüberdrängt, so stellt man zuerst die Niveaus in A und C auf die gleiche Ebene ein und dann je in A ein Volum, welches dem in e entwickelten Gase bei der Tagestemperatur und dem Tagesdrucke entspricht. Sodann schließt man Hahn b und ersetzt die Reductionsrechnung durch die mechanische Einstellung von B und C.

G. Lunge beschreibt auch eine Modification seines Gasvolumeters zur Stickstoffbestimmung bei Elementaranalysen. Hier ist Rohr A länger als sonst gemacht und in seiner Mitte mit einem gewöhnlichen Ansatze zum Einleiten von Kohlensäure und Stickstoff versehen. Das obere Röhrchen mit Fläschchen e fällt fort. Hahn b ist am besten so gestaltet, wie bei den früheren Nitrometern Lunges, also derart, daß man Rohr A mit einem über demselben befindlichen Becher oder vermittelst einer axialen Bohrung des Hahnschlüssels entweder Rohr oder Becher mit der äußeren Luft verbinden kann. Wie G. Lunge ausführt, kann man mittelst eines solchen Apparates unmittelbar nach Beendigung einer Verbrennung und Abkühlung des Gases ohne jede Rechnung den entwickelten Stickstoff in *mg* und Zehntel derselben ablesen, ohne sich um Thermometer und Barometer zu kümmern.

Beliebige Zusammenstellungen von Gasvolumetern sind von C. Desaga in Heidelberg zu beziehen.

Nochmals auf das Gay-Lussac-Mariotte'sche Gesetz zurückkommend, möge es hier gestattet sein, eine interessante Relation, welche mit Vortheil zur Berechnung der in denselben vorkommenden Constanten R dienen kann, und die von Prof. G. Schmidt entdeckt wurde, zu erwähnen, obwohl von dem mechanischen Aequivalente der Wärme erst später gesprochen werden wird. Dieselbe lautet:

$$R = \frac{2\,E}{m}$$

und es bedeutet in derselben: R die Constante des Gay-Lussac-Mariotte'schen Gesetzes, E das mechanische Aequivalent der Wärme (rund 424 Kilogramm-Meter) und *m* das Molekulargewicht des betreffenden Gases bezogen auf das Molekül Wasserstoff = 2 (1 Atom Wasserstoff = 1)

Das Gay-Lussac-Mariotte'sche Gesetz gilt streng genommen für einfache Gase oder ist doch wenigstens experimentell

für solche (und für Luft) nachgewiesen worden. Es frägt sich nun, wie sich ein Gemenge verschiedener Gase verhalten wird? Denken wir uns das Volum v_1 eines beliebigen Gases mit dem specifischen Gewichte s_1 mit einem Volum v_2 eines anderen Gases mit dem specifischen Gewichte s_2 zusammen gebracht, so wird das Gemenge beider Gase — und zwar ganz gleichgiltig, ob dieselben chemisch auf einander einwirken oder nicht — das Volum V einnehmen, und das specifische Gewicht S des Gemenges wird sich berechnen lassen müssen aus der Gleichung.

$$VS = v_1 s_1 + v_2 s_2$$

Sind in dem Raume V gleichzeitig mehrere Gase in solcher Menge vorhanden, daß sie einzeln den Raum V erfüllend die Spannungen $p_1, p_2, p_3, \ldots$ zeigen würden, so ist die Spannung des Gemenges

$$P = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots = \Sigma p$$

Dieses, das sogenannte Dalton'sche Gesetz der Partialdrücke, gestattet, wenn die Volumzusammensetzung eines Gasgemenges und die Gesammtspannung bekannt ist, die Spannung jedes einzelnen Gasgemengtheiles zu berechnen. Enthält das Volum V mit der Gesammtspannung P nämlich $v_1, v_2, v_3 \ldots$ Volumen an verschiedenen Gemengtheilen, so verhalten sich die Partialdrücke der einzelnen Gemengtheile zum Gesammtdrucke so wie die Partialvolumen zum Gesammtvolum, also

$$p_1 : P = v_1 : V$$
$$p_2 : P = v_2 : V$$
$$p_3 : P = v_3 : V$$

und hieraus findet sich:

$$p_1 = P \frac{v_1}{V}$$

$$p_2 = P \frac{v_2}{V}$$

$$p_3 = P \frac{v_3}{V} \text{ u. s. f.}$$

Das Mariotte'sche Gesetz, welches durch die Gleichung

$$p\,v = \text{Const.}$$

seinen mathematischen Ausdruck findet, gibt die Beziehungen zwischen Druck und Volumen der Gase unter der Bedingung

an, daß die Temperatur derselben bei allen in Rede kommenden Druck- und Volumänderungen constant bleibt. Da nun, nach den Lehren der mechanischen Wärmetheorie beim Zusammendrücken eines Gases Wärme frei, bei der Volumvergrößerung aber Wärme gebunden wird (indem in ersterem Falle negative, im zweiten aber positive äußere Arbeit geleistet wird), so setzt das Mariotte'sche Gesetz stillschweigend voraus, daß bei den in Rede stehenden Veränderungen entweder eine Wärmezufuhr oder eine Wärmeableitung und zwar in dem Maße stattfindet, als durch diese Veränderungen Wärme frei oder latent wird. In vielen Fällen handelt es sich aber darum, zu ermitteln, welche Beziehungen zwischen Druck und Volumen dann stattfinden, wenn entweder eine Compression ohne Wärmeableitung (z. B. in einer für Wärme undurchdringlichen Hülle) oder eine Expansion ohne Wärmezuleitung vollzogen würde.

Poisson hat diese Beziehungen ermittelt, und dieselben in die Form

$$p\,v^k = p'\,v'^k$$

oder

$$\frac{p'}{p} = \left(\frac{v}{v'}\right)^k$$

gebracht, welche Gleichungen das nach ihm benannte (Poisson'sche) Gesetz darstellen. In diesen Gleichungen bedeuten v und p, sowie p' und v' zwei Paare zusammengehöriger Werthe des Druckes und Volumens, während $k = \frac{c_p}{c_v}$ (siehe später) das Verhältniß der specifischen Wärme des Gases bei constantem Drucke zu jenem bei constantem Volum darstellt. Mit Worten lautet das Gesetz:

Die Drucke sind den kten Potenzen der Volumina verkehrt proportional.

Wir wollen dies durch ein Beispiel erläutern:

In der in Fig. 2 ersichtlichen cylindrischen Röhre A aus einem für Wärme undurchgängigen Materiale sei 1 *kg* Luft unter Atmosphärendruck und von 0° C. Temperatur enthalten, während der rings luftdicht schließende Stempel bei aa stehe. Verschieben wir nun den Stempel von aa nach bb, so wird das

ursprüngliche Luftvolum auf $\frac{9}{10}$ comprimirt; welcher Druck (p') wird hierzu erforderlich sein?

Fig. 2.

$$p' = p.\left(\frac{v}{v'}\right)^k$$

$$\log p' = \log p + k \log \frac{v}{v'}$$

$$\log p' = \log 10334 + 1{\cdot}41 \log \frac{10}{9}$$

$$= 4{\cdot}014268 + 0{\cdot}064517 = 4{\cdot}078785$$

und daher

$$p' = 11990 \; kg.$$

Multiplicirt man in der Gleichung

$$\frac{p'}{p} = \left(\frac{v}{v'}\right)^k$$

beide Seiten mit $\frac{v'}{v}$ so erhält man

$$\frac{p'\,v'}{p\,v} = \frac{v'}{v}\left(\frac{v}{v'}\right)^k = \left(\frac{v}{v'}\right)^{k-1}$$

Da nun, nach dem Mariotte'schen Gesetze

$p'\,v' = RT'$ und $p\,v = RT$

ist, folgt

$$\frac{p'\,v'}{p\,v} = \frac{T'}{T}$$

also erhält man durch Substitution dieses Ausdruckes in die frühere Gleichung:

$$\frac{T'}{T} = \left(\frac{v}{v'}\right)^{k-1}$$

oder mit Worten: die absoluten Temperaturen sind den (k—1) ten Potenzen der Volumina umgekehrt proportional.

Dieser Ausdruck des Poisson'schen Gesetzes kann dazu benützt werden, um in dem obigen Beispiele die Temperatur des auf 0·9 comprimirten Luftvolums zu berechnen. Man hat nämlich:

die Anfangstemperatur der Luft, $T = 0^0$ C. $= 272{\cdot}6^0$ absol. Temp. und daher:

$$\log T' = \log 272{\cdot}6 + 0{\cdot}41 \log \frac{10}{9}$$
$$= 2{\cdot}435526 + 0{\cdot}018760 = 2{\cdot}454286$$

und

$T' = 284{\cdot}6^0$ absolut. Temp. oder $+ 12^0$ C.

Aus der Gleichung

$$\left(\frac{v}{v'}\right)^k = \frac{p'}{p}$$

ergibt sich

$$\frac{v}{v'} = \sqrt[k]{\frac{p'}{p}} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{1}{k}}$$

Multiplicirt man beide Seiten dieser Gleichung mit $\frac{p}{p'}$, so erhält man

$$\frac{v\,p}{v'\,p'} = \frac{p}{p'}\left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{1}{k}-1} = \left(\frac{p}{p'}\right)^{1-\frac{1}{k}} = \left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

und durch abermalige Substitution von $v\,p = R\,T$ und $v'\,p' = R\,T'$:

$$\frac{T}{T'} = \left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

d. h. die absoluten Temperaturen sind den $\left(\frac{k-1}{k}\right)$ten Potenzen des Druckes direkt proportional.

Hiermit läßt sich in dem obigen Beispiele die Endtemperatur der Luft bei Compression derselben aus der Anfangstemperatur auch dann berechnen, wenn nur diese, sowie der Anfangs- und Enddruck bekannt sind. Man hat nämlich:

den Anfangsdruck $p = 10034$ *kg*
" Enddruck $p' = 11990$ "
die Anfangstemperatur $T = 272{\cdot}6^0$ absolut und daher:

$$T' = T\left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{k-1}{k}} = T\left(\frac{p'}{p}\right)^{0{\cdot}2907}$$

$$\log T' = \log 272{\cdot}6 + 0{\cdot}2907\,(\log 11990 - \log 10034)$$
$$= 2{\cdot}435526 + 0{\cdot}2907\,(4{\cdot}078785 - 4{\cdot}014268)$$
$$= 2{\cdot}454281$$

und folglich

$T' = 284{\cdot}6^0$ absolut, wie oben.

Anhangsweise sei noch bemerkt, daß für Dämpfe ähnliche Ausdrücke wie das Gay-Lussac-Mariotte'sche Gesetz aufgestellt werden können. So gilt für Wasserdampf nach G. Schmidt (abgeleitet aus Versuchen von Hirn).

$$\frac{p \cdot v}{T} = \frac{\mu\, p}{263 + t} = 46{\cdot}83$$

während Clausius für Kohlensäure nach den Versuchen von Andrews die Zustandsgleichung

$$p = \frac{0{\cdot}003688\, T}{v - 0{\cdot}000843} - \frac{2{\cdot}0935}{T\,(v + 0{\cdot}000977)^2}$$

aufstellt.

IV. Capitel.

Wärmemenge; Wärmeeinheit; specifische Wärme; mechanisches Aequivalent der Wärme.

Während die Temperaturangaben, wie wir gesehen haben, ein Maß der mittleren lebendigen Kraft eines einzelnen Körpermoleküles darstellen, fehlt uns bisher noch ein Mittel, um die in einem Körper von bestimmtem Gewichte enthaltene Gesammtwärmemenge zu messen. Man hat als Einheit für derartige Wärmemessungen die „Wärmeeinheit" oder „Calorie" aufgestellt und bezeichnet als solche jene Wärmemenge, welche der Gewichtseinheit flüssigem Wasser zugeführt werden muß, um seine Temperatur um 1° der landesüblichen Temperaturscala zu erhöhen.

Für wissenschaftliche Messungen, sowie überhaupt in jenen Ländern, in welchen das Metermaß eingeführt ist, bedient man sich als Gewichtseinheit des Kilogrammes (große Calorie = 1 Cal) oder des Grammes (kleine Calorie = 1 cal.) und der Celsiusscala.

Da jedoch die Wärmemenge, welche der Gewichtseinheit Wasser zugeführt werden muß, um seine Temperatur um 1° zu erhöhen, nicht constant, sondern von der jeweiligen Ausgangstemperatur abhängig ist, muß zur präcisen Bestimmung des Werthes der Wärmeeinheit, auch diese Ausgangstemperatur

angegeben werden. Leider wurde gerade bezüglich dieser Temperatur keine Übereinstimmung erzielt, so daß die Werthe der Calorie bei verschiedenen Physikern nicht ganz gleich sind, doch ist die Abweichung für die Praxis meist nicht erheblich. So versteht unter Wärmeeinheit: Berthelot die zur Erwärmung einer Gewichtseinheit Wasser von 0° auf 1° C. nöthige Wärme, während J. Thomsen die zur Erwärmung desselben von 18° auf 19° C. nöthige Wärmemenge so bezeichnet, und Bunsen sowie A. Schuller und V. Wartha die mittlere specifische Wärme (siehe später), d. i. den hundertsten Theil jener Wärmemenge so benannten, welche der Gewichtseinheit Wasser zugeführt werden müssen, um seine Temperatur von 0° auf 100° C. zu erwärmen.

Die relative Größe dieser drei verschiedenen Wärmeeinheiten ist folgende:

Specifische Wärme des Wassers bei 0° C. (Berthelot's Calorie) . . . . 1·000
Specifische Wärme des Wassers bei 18° C. (J. Thomson's Calorie) 1.001
Mittlere specifische Wärme zwischen 0° und 100° (Calorie nach Bunsen, sowie nach A. Schuller und V. Wartha). . . . . 1·005

Außerdem wird auch manchmal die zur Schmelzung der Gewichtseinheit Eis bei 0° C. und Atmosphärendruck aufzuwendende Wärmemenge als „Eiscalorie“ bezeichnet. Sie hat etwa 80 gewöhnliche große Calorien.

Von dem Begriffe der Calorie ausgehend wollen wir nun eine weitere Definition geben, und uns hierbei an die Fassung derselben in Pfaundler's Lehrbuch der Physik halten:

In den meisten Lehrbüchern werden Wärmecapacität und specifische Wärme als ganz gleichbedeutend angenommen. Maxwell dagegen unterscheidet dieselben in folgender Weise:

Die Wärmcapacität eines Körpers ist die Anzahl von Wärmeeinheiten, welche erforderlich ist, um die Temperatur eines Körpers um 1° zu erhöhen. Dabei wird, wenn von Stoffen die Rede ist, stillschweigend auf 1 *kg* derselben bezogen.

Die specifische Wärme eines Körpers ist das Verhältniß der Wärmemenge, welche diesen Körper um 1° erwärmt, zu derjenigen Wärmemenge, welche eine gleiche Menge

Wassers um 1° erwärmt. Diese Definition ist als reines Zahlverhältniß unabhängig von der Wahl der Temperaturscala und der Wärmeeinheit, stimmt aber nur dann mit der obigen genau überein, wenn man von den Aenderungen der specifischen Wärme mit der Temperatur absieht. Es stehen also die beiden Definitionen zu einander ungefähr in demselben Verhältnisse, wie die Dichte der Körper zu ihrem specifischen Gewichte.

R. Clausius (Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie, I., p. 258, Anmerk .) hat einen anderen Vorschlag gemacht. Nicht alle zugeführte Wärme wird zur Temperatursteigerung der Körper verwendet, ein Theil bringt, wie wir später hören werden, andere Wirkungen hervor, und wird dabei verbraucht, so daß also die in einem Körper nach der Erwärmung noch als solche enthaltene Wärmemenge sich von der zugeführten unterscheidet. Clausius hat nun früher den nur zur Temperatursteigerung dienenden Wärmeantheil (bezogen auf 1° und 1 kg.) die „wahre specifische Wärme“ später die „wahre Wärmecapacität“ genannt, und vorgeschlagen, dafür einfach „Wärmecapacität“ zu gebrauchen. Nach Clausius' Vorschlag wären also Wärmecapacität und specifische Wärme nicht nur der Definition, sondern auch dem Zahlenwerthe nach im Allgemeinen verschieden.

Die Gefahr einer Begriffsverwechslung wird noch weiter durch den Umstand gesteigert, daß mit dem Ausdrucke „wahre specifische Wärme“ gewöhnlich eine Größe bezeichnet wird, die mit der „wahren specifischen Wärme“ von Clausius nichts zu thun hat. Man versteht hierunter nämlich gewöhnlich jene Wärmenmenge, welche einem Körper, der eine bestimmte Temperatur besitzt, zugeführt werden muß, um seine Temperatur um 1° zu erhöhen (weshalb man auch beispielsweise von der wahren specifischen Wärme bei 35° C. ꝛc. spricht), während man als mittlere specifische Wärme jene Wärmemenge bezeichnet, welche dem Körper zur Erwärmung von einer bestimmten Temperatur zu einer andern beliebigen, jedoch ebenfalls bestimmten Temperatur durchschnittlich für jeden Grad Temperaturerhöhung zugeführt werden muß. In diesem letzteren Sinne spricht man beispielsweise von der mittleren specifischen Wärme des Eisens zwischen 0° und 300°. Wie leicht einzusehen ist, sind diese Begriffe ganz analog

jenen des wahren und mittleren Ausdehnungscoëfficienten, und wir kommen auch zu ganz analogen Gleichungen für die mittlere Wärmecapacität zwischen t^0 und $t_1{}^0$:

$$C_{t-t_1} = A + B(t_1 + t) + C(t_1{}^2 + t_1 t + t^2) + \ldots\ldots$$

und für die wahre specifische Wärme bei der Temperatur t:

$$C_t = A + 2Bt + 3Ct^2 + \ldots\ldots$$

Setzt man in der ersten Gleichung $t_1 = 0$, so erhält man die mittlere specifische Wärme zwischen 0^0 und t^0, nämlich

$$C_{0-t} = A + Bt + Ct^2 + \ldots\ldots$$

Endlich hat die Erfahrung gezeigt, daß die Wärmecapacität nicht nur mit der Temperatur, von welcher, sondern auch mit dem äußeren Drucke, unter welchem die Erwärmung stattfindet, sich verändert, so daß man also eigentlich von „specifischer Wärme bei dem Drucke p“ sprechen könnte. Es genügt jedoch hier, nur zwei specielle Fälle zu unterscheiden, nämlich den Fall, daß sich während der Erwärmung der äußere Druck nicht ändert (wobei also eine Volumsveränderung stattfinden muß) und den zweiten Fall, daß bei der Erwärmung das Volum des zu erwärmenden Körpers unverändert bleibt (wobei jedoch offenbar eine Druckänderung Platz greifen muß). Man bezeichnet die Wärmecapacität in ersterem Falle als: „bei constantem Drucke“, in letzterem als: „bei constantem Volum“ und in den mathematischen Ausdrücken gewöhnlich als c_p, respective c_v. Diesen Unterschied macht man jedoch gewöhnlich nur bei Gasen und Dämpfen, da für feste und flüssige Körper beide Wärmecapacitäten fast gleich sind.

Ueberdies muß noch erwähnt werden, daß die specifische Wärme der Körper sich auch mit ihrem specifischen Gewichte ändert, sowie daß nach Régnault bei einer größeren Anzahl von ihm untersuchter Legirungen jedes der dieselben zusammensetzenden Metalle seine Wärmecapacität beibehält, so daß sich die specifische Wärme dieser Legirungen aus ihrer Zusammensetzung und der specifischen Wärme der Componenten berechnen läßt.

Die Tabellen XXXVII — L des Anhanges enthalten die specifischen Wärmen der wichtigsten festen, flüssigen und gasförmigen Körper.

Die specifischen Wärmen der Körper nehmen — wie aus diesen Tabellen hervorgeht — mit steigender Temperatur zu; doch sind dieselben im gasförmigen Zustande kleiner als im flüssigen, während sie im flüssigen größer sind als im festen. Dies kommt daher, daß im festen und flüssigen Zustande neben der, zur bloßen Temperaturerhöhung aufzuwendenden, sowie neben der ziemlich unbedeutenden, auf äußere Arbeit verbrauchten Wärmemenge noch eine sehr erhebliche Wärmequantität dazu verbraucht wird, innere Verschiebungsarbeit zu leisten, d. h. die Entfernung der einzelnen Moleküle zu einander zu vergrößern, also die gegenseitige Anziehung zu überwinden.

Bekanntlich wird sowohl beim Schmelzen als beim Verdampfen der Körper Wärme latent (siehe das 1. Capitel), d. h. sie wird verbraucht, um die bei diesen Uebergängen nöthigen Arbeiten zu leisten. Man nennt diese Wärmemengen latente Schmelz-, respective latente Verdampfungswärmen. Für manche Körper sind diese Werthe allein nicht bekannt, sondern man hat bisher nur die gesammte Wärmemenge ermittelt, welche von einer bestimmten Temperatur an (meist 0° oder mittlere Temperatur) dem Körper mitgetheilt werden muß, um ihn zu schmelzen oder zu verdampfen. Man nennt diese Werthe totale Schmelz- oder totale Verdampfungswärmen. Diesbezügliche Angaben enthalten die Tabellen LI bis LVIII des Anhanges.

Nach den Lehren der mechanischen Wärmetheorie ist die Wärme eine bestimmte Form der Energie (siehe Capitel I). Demzufolge muß sich die Wärme auch in mechanischem Maße messen lassen. Wir nennen den Arbeitswerth einer Wärmeeinheit (E), das mechanische Aequivalent der Wärme, während wir den reciproken Werth $\left(\frac{1}{E} = A\right)$ als thermisches Arbeitsäquivalent bezeichnen könnten. Die nachfolgende Tabelle enthält die nach verschiedenen Methoden und von verschiedenen Beobachtern ermittelten Werthe des mechanischen Aequivalentes der Wärme.

Mechanisches Aequivalent, oder Arbeitswerth der Wärmeeinheit.
(1 Calorie.)

Thatsächliche Grundlage für die Bestimmung des Arbeitswerthes von 1 Calorie	Die theoretische Grundlage der Berechnung haben gegeben	Die experimentellen Beobachtungen haben gegeben	Werthe des mechanischen Aequivalentes der Wärmeeinheit
Physikalische Eigenschaften der Luft	J. R. Mayer und R. Clausius	Verschiedene	425 *mkg*
Wärmeerscheinungen bei der Ausdehnung der Gase	Joule	Joule	441 „
dto.	Tresca und Laboulay	„	433 „
Wärmewirkungen bei Volumveränderungen der Metalle	Edlund	„	431 „
Reibung	Joule	„	425 „
Reibung zwischen Metallen oder Metall und Holz	Colding	Colding	372 „
Reibung von Stahl gegen Stahl	Favre	Favre	413 „
Reibung von Flüssigkeiten	Hirn	Hirn	432 „
Stoß auf Blei	„	„	425 „
Arbeit der Dampfmaschinen	„	„	398 „
dto.	R. Clausius	„	413 „
Vermittelst des Foucault'schen Apparates u. eines Elektromagneten	Violle	„	435 „
Wärmeentwicklung durch eine elektromagnetische Maschine in Ruhe und in Bewegung.	Favre	Favre	443 „
Gesammtwärmeentwicklung im Schließungsbogen einer Danielle'schen Säule	Quintus Icilius gestützt auf R. Clausius.	W. Weber	392 „

Thatsächliche Grundlage für die Bestimmung des Arbeitswerthes von 1 Calorie	Die theoretische Grundlage der Berechnung haben gegeben	Die experimentellen Beobachtungen haben gegeben	Werthe des mechanischen Aequivalentes der Wärmeeinheit
Erwärmung des Leitungsdrahtes durch den galvanischen Strom	H. Weber	Joule	410 „
Wärmeentwicklung durch Inductionsströme	Joule	„	460 „
dto.	Le Roux	Le Roux	322—572 *mkg*
Messung der Inductionsarbeit	A. v. Waltenhofen	A. v. Waltenhofen	421 *mkg*

Zum Schlusse dieses Capitels möge noch Einiges zur Erklärung der Tabellen LVI bis LVIII des Anhanges über die Verdampfungswärme des Wassers gesagt werden:

Nach den Lehren der mechanischen Wärmetheorie ist die gesammte Wärmemenge λ, welche erforderlich ist, um 1 *kg* Wasser von 0° aus in Dampf von der Temperatur t° zu verwandeln, zusammengesetzt aus der Flüssigkeitswärme q und der Verdampfungswärme r; erstere verwandelt 1 *kg* Wasser von 0° in Wasser von t°, letztere 1 *kg* Wasser von t° in Dampf von t°. Es ist somit

$$\lambda = q + r$$

Nach Régnault ist $\lambda = 605{\cdot}5 + 0{\cdot}305\,t$ Calorien und die Flüssigkeitswärme $q = t + 0{\cdot}00002\,t^2 + 0{\cdot}0000003\,t^3$. Somit beträgt die Verdampfungswärme $r = \lambda - q = 606{\cdot}5 - 0{\cdot}695\,t - 0{\cdot}00002\,t^2 - 0{\cdot}0000003\,t^3$.

Die Verdampfungswärme r läßt sich noch weiter zerlegen in die zur Disgregationsarbeit verwendete Wärmemenge, d. i. in die innere latente Wärme ρ und in die zur Verrichtung der äußeren Arbeit aufgewendete Wärmemenge, d. i. die äußere latente Wärme Apu; d. h. es ist

$$r = \rho + A.p.u.$$

und

$$\lambda = q + \rho + A.p.u.$$

Ferner ist das specifische Volumen eines *kg* Dampf in Litern, d. i. das Dampfvolum, welches aus 1 Volum Wasser gebildet wird, nach Mariotte und Gay-Lussac $= 4{\cdot}543 \frac{273 + t}{p}$, worin t die Temperatur und p den Druck in Atmosphären bedeutet.

Endlich bezeichnet in der Zeuner'schen Tabelle der gesättigten Wasserdämpfe σ das specifische Volum des Wassers, das ist das Volum von 1 *kg* Wasser $= 0{\cdot}001\, m^3$, δ aber das specifische Volum des Dampfes, d. i. das Volum eines *kg* Wasserdampf in m^3, so ist die Differenz beider

$$u = \delta - \sigma = \delta - 0{\cdot}001.$$

Für ρ hat Zeuner die empirische Formel aufgestellt:

$$\rho = 575{\cdot}40 - 0{\cdot}791\, t,$$

woraus folgt

$$\begin{aligned} Apu = \lambda - q - \rho &= 606{\cdot}5 - 0{\cdot}695\, t - 0{\cdot}00002\, t^2 - \\ &- 0{\cdot}0000003\, t^3 - (575{\cdot}40 - 0{\cdot}791\, t) \\ &= 31{\cdot}10 + 1{\cdot}096\, t - q. \end{aligned}$$

Für γ, d. i. das Gewicht eines Kubikmeters in *kg* gilt die Gleichung

$$\gamma = \frac{1}{u + 0{\cdot}001}$$

die in der Fliegner'schen Tabelle benützt wurde, während hierfür Zeuner die Näherungsformel

$$\gamma = \alpha p^{\frac{1}{n}}$$

aufstellt, in welcher $\alpha = 0{\cdot}6061$ und $\frac{1}{n} = 0{\cdot}9393$ ist, wenn p in Atmosphären ausgedrückt wird.

Clausius stellt für die totale Verdampfungswärme des Wassers bei der Siedetemperatur t^0 C die einfache Formel auf:

$$q = 607 - 0{\cdot}708\, t$$

Das specifische Gewicht des gesättigten Wasserdampfes ist nach Fairbairn und Tate

$$S = 0{\cdot}02562 + \frac{17098}{F + 246{\cdot}67} = 0{\cdot}02562 + \frac{17098}{\frac{f}{13596} + 246{\cdot}67}$$

worin F den Druck in Kilogrammen, f aber den Druck in Millimetern Quecksilbersäule darstellt.

Das specifische Gewicht ungesättigter Dämpfe ist (wenn sie nur genügend weit erhitzt sind) den Molekulargewichten der betreffenden Dämpfe proportional. Dieses Gesetz gilt jedoch nicht in der Nähe des Sättigungspunktes.

Herwig fand eine ziemlich einfache Relation zwischen der wirklichen Dichte δ der gesättigten Dämpfe, ihrer normalen (aus dem Molekulargewichte berechneten) Dichte D und der absoluten Temperatur $T = t + 272{\cdot}6$, nämlich:

$$\delta = D \, . \, 0{\cdot}0595 \sqrt{T}$$

welche für alle von ihm untersuchten Dämpfe (Alkohol, Chloroform, Schwefelkohlenstoff, Wasser, Äther und Bromäthyl) gilt.

Clausius hat aus Gründen der mechanischen Wärmetheorie für das Volum v, welches 1 *kg* gesättigter Wasserdampf bei der (absoluten) Temperatur T einnimmt, den Ausdruck aufgestellt:

$$v = \frac{424 \, . \, r}{T \, . \, \varphi} + 0{\cdot}001$$

worin $r = 607 - 0{\cdot}708\, t$ (nach Clausius) die latente Verdampfungswärme, T die absolute, t die in Graden Celsius gemessene Siedetemperatur und φ die der Siedetemperatur entsprechende Spannungsdifferenz für 1° C ist. Diese Gleichung gibt mit den empirisch gefundenen sehr genau übereinstimmende Werthe, doch müssen wir hier davon absehen, dieselbe mathematisch zu begründen.

V. Capitel.

Chemische Grundsätze. — Verbrennungsproceß.

Nach dem Gay-Lussac-Mariotte'schen Gesetze zeigen alle Gase — wenn man dieselben in dem gleichen Anfangszustande annimmt — bei gleichen Temperatur- und Druckänderungen auch gleiche Volumsänderungen. Dieses Verhalten erklärt sich einfach durch das Avogadro'sche Gesetz, welches lautet:



Bei gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur enthalten alle Gase in gleichen Volumen auch eine gleiche Anzahl von Molekülen.

Dieses wichtige Gesetz gestattet die Molekulargröße aller gasförmigen Verbindungen aus ihrer Dampfdichte (bezogen auf die des Wasserstoffes) abzuleiten, d. h. zu ermitteln, in welchem Verhältnisse das Gewicht eines Moleküles der in Rede stehenden gasförmigen Verbindung zu dem Gewichte eines Moleküles Wasserstoff steht.

An dieses Gesetz schließt sich unmittelbar das Gay-Lussac'sche oder das Gesetz der einfachen Gasvolumen an, nämlich: Zwei Gase verbinden sich stets nach einfachen Raumverhältnissen. Es verbindet sich nämlich:

1 Volumen Wasserstoff mit 1 Volum Chlorgas zu 2 Volumen Chlorwasserstoffgas.

2 Volumen Wasserstoff mit 1 Volum Sauerstoff zu 2 Volumen Wasserdampf.

3 Volumen Wasserstoff mit 1 Volum Stickstoff zu 2 Volumen Ammoniakgas 2c.

Betrachten wir die erste der obigen Angaben näher. Nach dem Avogadro'schen Gesetze enthält sowohl das Volum Wasserstoffgas als das Volum Chlorgas gleich viel, sagen wir n Moleküle, während die daraus entstandenen 2 Moleküle Chlorwasserstoffgas doppelt so viel, also 2 n Moleküle enthalten müssen. Es sind somit aus je einem Moleküle Wasserstoff und einem Moleküle Chlorgas zwei Moleküle der Verbindung beider entstanden. Dies erklärt sich am einfachsten (und wie andere Schlüsse und Beobachtungen, die wir hier nicht anführen können, beweisen, auch am richtigsten) durch die Annahme, daß das Molekül Wasserstoff sowohl als das Molekül Chlor sowie endlich auch das Molekül Chlorwasserstoff aus zwei Atomen bestehen. Bezeichnen wir das Atom Wasserstoff mit H, das Atom Chlor mit Cl (den Anfangsbuchstaben ihres lateinischen Namens: Wasserstoff-Hydrogen und Chlor), so können wir die Thatsache der oben angeführten Verbindung zwischen Wasserstoff und Chlor durch folgende (sogenannte „chemische") Gleichung zum Ausdrucke bringen:

$$H_2 + Cl_2 = 2\,HCl$$

d. h. ein Molekül Wasserstoff verbindet sich mit einem Moleküle Chlor zu zwei Molekülen Chlorwasserstoff;

oder abgekürzt: ein Atom Wasserstoff und ein Atom Chlor verbinden sich zu 1 Molekül (bestehend aus 2 Atomen) Chlorwasserstoff;

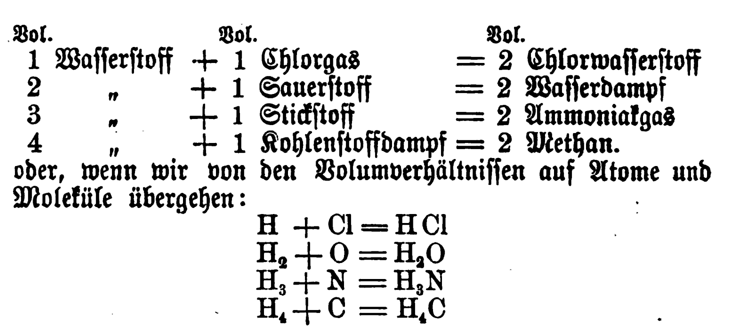
oder endlich: aus einem Volum Wasserstoff und einem Volum Chlor von bestimmter Temperatur und bestimmtem Drucke entstehen 2 Volumina der Verbindung, gemessen bei derselben Temperatur und demselben Druck.

So wie das Wasserstoff-Molekül, bestehen die Moleküle der meisten Elemente im Gaszustande aus zwei Atomen; doch gibt es auch Ausnahmen. So bestehen die Moleküle von Quecksilber-, Zink- und Cadmium-Dampf nur aus *einem* Atom, die Moleküle von Phosphor, Arsen und Antimon-Dampf aus *vier* Atomen, endlich die Moleküle von Schwefel- und Selen-Dampf bei niederer Temperatur aus *sechs*, bei höherer Temperatur jedoch nur aus *zwei* Atomen. Letztere Elemente zeigen, daß die Moleküle unter gewissen Umständen (genügend hohe Temperatur) freiwillig in kleinere Moleküle zerfallen können; diesen Vorgang nennt man *Dissociation*.

Da nun die meisten Elemente zweiatomige Moleküle besitzen, und überdies bei der Entstehung solcher Verbindungen, deren Moleküle aus zwei Atomen bestehen, keine Contraction stattfindet, stellt man das Molekül mit zwei Volumen in eine Parallele und hat dann

dem Atome Wasserstoff, Chlor 2c. entsprechend 1. Gasvolum
" " Quecksilber-Dampf 2c. " 2 "
" " Phosphor-Dampf 2c. " $^1/_2$ "
" " Schwefel und Selen-Dampf bei niederer Temperatur entsprechend $^1/_3$ Gasvolum
dem Atome Schwefel- und Selen-Dampf bei höherer Temperatur entsprechend 1 "

Aus Gründen der Analogie 2c. nimmt man auch an, daß das Molekül des hypothetischen Kohlenstoff-Dampfes aus zwei Atomen bestehe, und daß sich ein Volum Kohlenstoff-Dampf mit vier Volumen Wasserstoffgas zu zwei Volumen Kohlenwasserstoff (Methan oder Grubengas) verbinde. Hierdurch erweitert sich unser oben gegebenes Schema wie folgt:



Vol.			Vol.			Vol.	
1	Wasserstoff	+	1	Chlorgas	=	2	Chlorwasserstoff
2	„	+	1	Sauerstoff	=	2	Wasserdampf
3	„	+	1	Stickstoff	=	2	Ammoniakgas
4	„	+	1	Kohlenstoffdampf	=	2	Methan.

oder, wenn wir von den Volumverhältnissen auf Atome und Moleküle übergehen:

$$H + Cl = HCl$$
$$H_2 + O = H_2O$$
$$H_3 + N = H_3N$$
$$H_4 + C = H_4C$$

Wollen wir bei unserer chemischen Schreibweise, wie es strenge genommen auch richtig ist, auch darauf Rücksicht nehmen, daß durch die chemische Umsetzungsgleichung die Zusammensetzung der Moleküle vor und nach der zur Darstellung zu bringenden chemischen Reaction anschaulich gemacht werden soll, so müssen die obigen vier Gleichungen in nachstehende Form gebracht werden:

$$H_2 + Cl_2 = HCl + HCl$$
$$H_2 + H_2 + O_2 = H_2O + H_2O$$
$$H_2 + H_2 + H_2 + N_2 = H_3N + H_3N$$
$$H_2 + H_2 + H_2 + H_2 + C_2 = H_4C + H_4C$$

(Diese Gleichungen zeigen, worauf wir hier jedoch nur im Vorbeigehen aufmerksam machen wollen, daß in den meisten Fällen bevor eine chemische Vereinigung zweier oder mehrerer Stoffe (selbst Elemente) stattfinden kann, die Moleküle der vorhandenen Stoffe erst eine Zersetzung erleiden müssen.)

Eine Betrachtung der obigen Schemata läßt erkennen, daß die Atome mancher Elemente sich mit einem einzigen Wasserstoffatome (das wir als Einheit betrachten wollen) verbinden können. Solche Atome besitzen also offenbar den gleichen Verbindungswerth mit dem Wasserstoffatome, man bezeichnet sie daher als mit diesem gleichwerthig oder äquivalent, und mit Rücksicht darauf, daß das Wasserstoffatom als Einheit angenommen wurde, als einwerthig oder monovalent.

Andere Atome können sich nur mit zwei Wasserstoff- (oder den ihnen äquivalenten 2 Chlor-) Atomen verbinden, weshalb

man sie als zweiwerthig oder bivalent bezeichnet. Sie sind untereinander ebenfalls aber nur mit je zwei monovalenten Atomen äquivalent.

Wieder andere Atome brauchen je 3 Wasserstoff- oder Chloratome, um vollkommen abgeschlossene („gesättigte") Verbindungen zu geben. Sie heißen 3werthig oder trivalent und sind untereinander, ferner mit je 3 einwerthigen oder mit 1½ zweiwerthigen Atomen äquivalent.

Ganz analog verhalten sich die vierwerthigen (tetravalenten), die fünf- (penta-) und sechswerthigen (hexavalenten) Elemente.

Nach ihrer Werthigkeit (Valenz) geordnet, sind die wichtigsten Elemente im Folgenden zusammengestellt:

I. Monovalent	II. Bivalent	III. Trivalent	IV. Tetravalent	V. Pentavalent	VI. Hexavalent
		A. Metalloide.			
Wasserstoff, H	Fluor, F (?)	Stickstoff, N	Kohlenstoff C	Stickstoff, N	
Chlor, Cl	Sauerstoff, O	Phosphor, P	Silicium, Si	Phosphor, P	
Brom, Br	Schwefel, S	Bor, B			
Jod, J	Selen, Se				
Fluor, F (?)					
		B. Metalle.			
		α) leichte Metalle.			
1.) Alkalimetalle.	2. Alkalirdmetalle.				
Kalium, K	Barium, Ba				
Natrium, Na	Strontium, Sr				
Lithium, Li	Calcium, Ca				
Rubidium, Rb	Magnesium, Mg				
Cäsium, Cs					
	3.) Metalle der eigentlichen Erden.				
	Cer, Ce	Aluminium, Al (?)	Aluminium, Al (?)		
	Lanthan, La	Gallium, Ga (?)	Gallium, Ga (?)		
	Didym, Dy				
	Yttrium, Y				
	Erbium, Eb				
	Beryllium, Be				

I. Monovalent	II. Bivalent	III. Trivalent	IV. Tetravalent	V. Pentavalent	VI. Hexavalent
		β) Schwermetalle.			
		1. unedle Metalle.			
Thallium, Tl	Mangan, Mn Eisen, Fe Chrom, Cr Kobalt, Co Uran, U Nickel, Ni Zink, Zn Cadmium, Cd Blei, Pb Kupfer, Cu Tellur, Te Indium, In	Thallium, Tl — Wismuth, Bi Antimon, Sb Arsen, As Vanadium V	Zinn, Sn Titan, Ti Wolfram, Wo —	Wismuth, Bi Antimon, Sb Arsen, As Vanadin, V Tantal, Ta Niob, Nb	Molybdän, Mo
		2. edle Metalle.			
Silber, Ag	Quecksilber Hg	Gold, Au	Platin, Pt Palladium Pd Iridium, Ir Rhodium, Rh Osmium, Os Ruthenium Ru		

Sowohl die Moleküle als noch vielmehr die Atome sind so winzig, daß wir dieselben weder sehen, noch messen und wägen können. Da wir jedoch nach dem oben Gesagten wissen, daß gleiche Gasvolumina bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke eine gleiche Anzahl von Molekülen enthalten, und es uns auch bekannt ist, aus wie viel und was für Atomen die Moleküle der gasförmigen Körper aufgebaut sind, können wir, wenn auch nicht das absolute Gewicht der Atome und Moleküle, so doch ihr relatives, d. i. das auf das Gewicht eines Atomes Wasserstoff bezogene Atom- und Molekulargewicht derselben ermitteln. Die Tabelle LIX des Anhanges enthält die Atomgewichte der Elemente, sowohl nach den Neuberechnungen von F. W. Clarke (Constants of nature, 1882) als

nach jenen von Lothar Meyer und K. Seubert (die Atomgewichte der Elemente, 1883). Nach den letzten beträgt der mögliche Fehler der Atomgewichtszahlen:

weniger als 0·05 bei: Br, Cl, I, K, C, Na, O, S, Ag, N;
circa 0·1 bei: Pb, B, Ca, Fe, F, Li, P, Pt, Rb, V;
bis 0·5 bei: Al, As, Ba, Be, Cs, Tl, In, Ir, Cd, Cu, Mo, Hg, Sc, Se, Sr, W,
von 0·5 bis 1·0 bei: Cr, Au, Co, Mg, Mn, Ni, Pd, Rh, Ru, Si, Te, Zn;
von 1·0 bis möglicherweise mehrere Einheiten bei: Sb, Ce, Di. Eb, La, Nb, Os, Ta, Tl, Th, Ti, U, Bi, Yt, Y, Sn, Zr.

Endlich sind der Tabelle noch jene Neubestimmungen der Atomgewichte angefügt worden, welche seit der Durchführung der Berechnungen von Clarke und von L. Mayer und K. Seubert ausgeführt wurden.

Bevor wir zur Besprechung der Verbrennungserscheinungen vom chemischen Standpunkte eingehen (ein Thema, das uns im Folgenden am meisten interessieren wird) wollen wir auf den Vortheil aufmerksam machen, welchen es für die Durchführung stöchiometrischer Rechnungen für uns bildet, sich hierbei so lange als möglich der Volumsverhältnisse zu bedienen, und erst im letzten Momente auf die Gewichtsverhältnisse überzugehen.

Die Gasanalyse, die eines der wichtigsten Hilfsmittel zur Anstellung von Heizversuchen bildet, gibt uns die Zusammensetzung der verschiedenen Gase in Volumprocenten. Rechnen wir dieselbe in Gewichtsprocente um, so haben wir kleine Abweichungen von dem direct gefundenen Werthe unausweichlich, diese Abweichungen werden bei den darauffolgenden Manipulationen mit vielstelligen Zahlen möglicherweise noch größer werden. Ueberdies aber, und dies fällt weit mehr in die Wagschale als die bei den Umrechnungen unvermeidlich entstehenden, aber immerhin ziemlich geringfügigen Fehler, ist das Rechnen mit vielziffrigen Zahlen zeitraubend und Rechenfehler hierbei durchaus nicht ausgeschlossen. Hingegen sind die Volumverhältnisse der Gasbestandtheile äußerst einfache Zahlen, wodurch die Rechnung bedeutend vereinfacht, also auch rascher

durchführbar wird, und Rechenfehler fast ganz ausgeschlossen werden.

Bei derartigen Rechnungen ist jedoch Folgendes zu bedenken:

1. Jedes Molekül stellt zwei Volumen dar (siehe oben).

2. Die Atome der meisten Elemente im freien Zustande stellen ein Volum dar. Jene Elemente, welche hier eine Ausnahme bilden, kommen fast nie in Betracht, und überdies würde die Richtigkeit der Rechnungen, so lange man bei den Volumverhältnissen bleibt, auch gar nicht beeinträchtigt werden, wenn man auch bei diesen zweiatomige Moleküle supponiren würde. Nur beim Uebergange von den Volumverhältnissen auf Gewichtsmengen müßte hierauf Rücksicht genommen werden, indem man hierfür nicht die thatsächlichen Dichten (oder Litergewichte) der betreffenden Elemente in Rechnung ziehen dürfte.

Für die wichtigsten hier in Betracht kommenden Gase (und Dämpfe) haben wir die nachfolgenden volumetrischen Zusammensetzungen in Betracht zu ziehen.

freier Sauerstoff . . .	O_2	= 2	Volumen
„ Wasserstoff . . .	H_2	= 2	„
„ Stickstoff . . .	N_2	= 2	„

Kohlensäure:	2 Vol.	CO_2	sind entstanden aus	1 „ Kohlenstoff 2 „ Sauerstoff
Kohlenoxyd:	2 „	CO	„ „ „	1 „ Kohlenstoff 1 „ Sauerstoff
Methan:	2 „	CH_4	„ „ „	1 „ Kohlenstoff 4 „ Wasserstoff
Wasser:	2 „	H^2O	„ „ „	1 „ Sauerstoff 2 „ Wasserstoff
Ammoniak:	2 „	H^3N	„ „ „	1 „ Stickstoff 3 „ Wasserstoff
Schwefelwasserstoff:	2 „	H^2S	„ „ „	1 „ Schwefel 2 „ Wasserstoff
Aethylen:	2 „	C_2H_4	„ „ „	2 „ Kohlenstoff 4 „ Wasserstoff
Benzol:	2 „	C_6H_6	„ „ „	6 „ Kohlenstoff 6 „ Wasserstoff

(alles im gasförmigen Zustande angenommen)

Hiernach ist es sehr einfach, ein Gasgemenge, dessen volumprocentische Zusammensetzung bekannt ist, in seine Ele-

mentarbestandtheile zu zerlegen, wie die folgenden Beispiele zeigen:

A. Generatorgas.

Gasbestandtheile in Volumtheilen		Zerlegung in die Elemente			
		C	O	H	N
Kohlensäure	4·05	2·025	4·05	—	—
Sauerstoff	0·21	—	0·21	—	—
Kohlenoxyd	26·00	13·00	13·00	—	—
Methan	0·35	0·175	—	0·70	—
Wasserstoff	12·53	—	—	12·53	—
Stickstoff	56·86	—	—	—	56·86
Summe	100·00	15·200	17·26	13·23	56·86

B. Essengase

erhalten durch die Verbrennung des vorstehenden Generatorgases.

Gasbestandtheile in Volumtheilen		Zerlegung in die Elemente		
		C	O	N
Kohlensäure	12·11	6·055	12·11	—
Sauerstoff	6·12	—	6·12	—
Kohlenoxyd	0·02	0·01	0·01	—
Stickstoff	81·75	—	—	81·75
Summe	100·00	6·065	18·24	81·75

Aber auch noch weitere sehr einfache Schlußfolgerungen lassen sich aus der volumprocentischen Zusammensetzung der obigen beiden Gase ziehen.

Bedenkt man, daß der Stickstoffgehalt der Kohlen ein sehr geringer ist, daß von demselben überhaupt nur ein Bruchtheil in die Gase übertritt und daß dieser Bruchtheil hauptsächlich als Ammoniak auftritt, das ja in den obigen Analysen gar nicht aufgeführt ist, so kann man mit vollem Recht annehmen, daß der ganze Stickstoffgehalt der Generatorgase von der zugeführten Verbrennungsluft stammt. Da nun die atmosphärische Luft im Mittel aus 21 Volum% Sauerstoff und

aus 79 Vol.% Stickstoff besteht, enthalten 100 Volumtheile der obigen Generatorgase

$$\frac{56{\cdot}86 \times 100}{79} = 71{\cdot}97$$

Volumtheile atmosphärische Luft (bestehend aus 56·86 Vol. Thl. Stickstoff und 71·97 — 56·86 = 15·11 Vol. Thl. Sauerstoff) während aus der Kohle stammen:

15·20 Vol. Thle. Kohlenstoff
17·26 — 15·12 = 2·15 „ „ Sauerstoff

Der Wasserstoffgehalt des directe aus der Kohle stammenden Gasantheiles läßt sich nicht unmittelbar berechnen, da ja ein Theil desselben aus dem Feuchtigkeitsgehalte der Verbrennungsluft stammen wird. Auch dieser Antheil ließe sich zwar unschwer ermitteln, doch wollen wir hier davon absehen, um das Beispiel nicht unnöthig zu compliciren.

Ziehen wir nun die Zusammensetzung des Generatorgases und des Essengases in Vergleich, so finden wir zunächst, daß letzteres offenbar die ganze Kohlenstoffmenge des erstern enthalten müsse.

100 Volumtheile Generatorgase enthalten aber 15·20 Vol. Theile Kohlenstoff (Dampf), während 100 Volumtheile des Essengases nur 6·065 Volumtheile dieses Elementes in Dampfform enthalten. Multipliciren wir somit sämmtliche Elementarbestandtheile des Essengases mit

$$\frac{15{\cdot}20}{6{\cdot}065} = 2{\cdot}506,$$

so erhalten wir die 100 Volumen des Generatorgases entsprechenden Volumtheile der Elementarbestandtheile des Essengases, nämlich:

	Vol.-Th. C		Vol.-Th. O
Kohlensäure:	$6{\cdot}055 \times 2{\cdot}506 = 15{\cdot}17$	und	$12{\cdot}11 \times 2{\cdot}506 = 30{\cdot}35$
Sauerstoff			$6{\cdot}12 \times 2{\cdot}506 = 15{\cdot}04$
Kohlenoxyd.	$0{\cdot}01 \times 2{\cdot}506 = 0{\cdot}03$	und	$0{\cdot}01 \times 2{\cdot}506 = 0{\cdot}03$
also zusammen	15·20	und	45·72

endlich Stickstoff .... $81{\cdot}75 \times 2{\cdot}506 = 204{\cdot}87$ Volumtheile.

Da nun aus den Generatorgasen zugeführt wurden:

Kohlenstoff	15·20	Vol. Th.
Sauerstoff	17·26	„ „
Wasserstoff	13·23	„ „
Stickstoff	56·86	„ „

so müssen aus der Verbrennungsluft stammen:

Kohlenstoff	: 15·20 — 15·20 = 0	Vol.-Thl.
Sauerstoff	: 45·72 — 17·26 = 28·46	„ „
Stickstoff	: 204·87 — 56·86 = 148.01	„ „

Aus obiger Stickstoffdifferenz berechnet sich aber die Menge der zugetretenen Verbrennungsluft mit $\frac{100 \times 148{\cdot}01}{79} = 187{\cdot}35$ Volumtheilen (bestehend aus 148·01 Volthl. Stickstoff und 187·35 — 148·01 = 39·34 Volthl. Sauerstoff).

Betrachten wir nun umgekehrt wie viele Volumen Sauerstoff von 100 Volumen der obigen Generatorgase aufgenommen werden mußten, um die untersuchten Essengase zu liefern, so finden wir:

Von 26·00 Vol. Kohlenoxyd des Generatorgases blieben 0·06 Vol. in den Essengasen unverändert, es wurden somit 26·00 — 0·06 Vol. = 25·94 CO zu CO_2 verbrannt, wozu . . . . 12·97 Vol. Sauerst. aufgenommen werden mußten.

Zur Verbrennung des Methan waren erforderlich:

für 0·175 Vol. Kohlenstoff bei der Verbrennung zu CO_2 . . . . 0·35 Vol. Sauerst.

für 0·70 Vol. Wasserstoff bei der Verbrennung zu H_2O . . . . 0·35 Vol. Sauerst.

Endlich zur Verbrennung des freien Wasserstoffes (12·53 Vol.) . . . . . . 6·26 Vol. Sauerst.

Überdies enthalten die Essengasse (pro 100 Vol. Generatorgas berechnet) an freiem Sauerstoff . . . . 15·34 Vol. Sauerst.

also zusammen. . . . . 35·27 Vol. Sauerst.

während sich die in der Verbrennungsluft enthaltene Sauerstoffmenge aus dem Stickstoffe wie oben berechnet mit . . 39·34 Vol. Sauerst.
So daß die Essengase thatsächlich um . 4·07 Vol. Sauerst.
zu wenig enthalten.

Dies ist auch vollkommen richtig, wenn man bedenkt, daß obiges Generatorgas in einem Siemens-Martin-Ofen zur Verbrennung gelangte und also ein Theil des Sauerstoffes der Verbrennungsluft zur Oxydation von Kohlenstoff, Silicium, Eisen und Mangan des Metallbades benützt wurde. Der zur Oxydation von Silicium, Mangan und Eisen verwendete Sauerstoff mußte offenbar aus den Essengasen verschwinden, bildet also einen Theil des obigen Manko, während durch die Oxydation von Kohlenstoff aus dem Metallbade zu Kohlensäure eine gewisse Menge von Kohlenstoff in die Essengase gelangte, der nicht den Generatorgasen entstammt. Da wir hierauf — um das Beispiel nicht zu sehr zu compliciren — nicht Rücksicht nahmen, war der eben berechnete Coëfficient zur Ermittlung der 100 Volumtheilen Generatorgas entsprechenden Essengasmenge (2·506) zu groß, also auch der durch die Verbrennungsluft zugeführte Sauerstoff zu groß gefunden worden. Indem wir uns vorbehalten an anderer Stelle an einem Beispiele zu zeigen, wie man auf die berührten Umstände Rücksicht nehmen kann, wollen wir uns nun zur Besprechung des für uns wichtigsten chemischen Vorganges wenden, zur Besprechung des Verbrennungsprocesses.

Alle unsere gewöhnlichen Brennstoffe enthalten Kohlenstoff und Wasserstoff, die meisten außerdem auch noch Sauerstoff, Stickstoff ꝛc. ꝛc. ferner Asche und eine gewisse Menge Feuchtigkeit (das „hygroskopische Wasser.“) Allerdings kommen unter gewissen Umständen auch noch ganz andere Brennstoffe in Betracht, wie z. B. das Silicium beim gewöhnlichen sauren und der Phosphor beim basischen Bessemerprocesse, doch wollen wir uns hier auf die gewöhnlichen Brennstoffe beschränken.

Die Verbrennung besteht nun in einer forcirten Vereinigung der Brennstoffe mit Sauerstoff. Je nach den hierbei entstehenden Producten unterscheidet man eine vollständige und eine unvollständige Verbrennung.

Bei der vollständigen Verbrennung geben die brennbaren Bestandtheile der hier betrachteten Brennstoffe (d. i. Brennstoffe im gewöhnlichen Sinne) keine anderen Verbrennungsproducte als Kohlensäure und Wasser, während der unverbrennliche Antheil der Verbrennungsproducte als Asche zurückbleibt, oder als Stickstoff, Wasserdampf ꝛc., entweicht. Es entstehen also hierbei lauter solche Verbrennungsproducte, welche nicht mehr selbst brennbar sind, während bei der unvollkommenen Verbrennung neben solchen auch noch brennbare Verbrennungsproducte gebildet werden.

Die Ursache der unvollkommenen Verbrennung ist bei festen Brennstoffen ein Zusammenbacken oder -sintern derselben, welches den Zutritt der Luft zum Brennstoffe erschwert, oder ein Zerspringen, ja selbst zu kleines Format derselben, was ein Durchfallen durch den Rost unterstützt, wodurch das Brennmateriale der beabsichtigten Verbrennung entzogen wird; bei gasförmigen Brennstoffen eine ungenügende Mischung mit dem zur Verbrennung erforderlichen Sauerstoffe und endlich im Allgemeinen überhaupt ungenügender Zutritt von Sauerstoff.

Wir wollen hier gleich bemerken, daß in der Praxis die meisten Feuerungen eigentlich Gasfeuerungen sind, indem zunächst aus dem festen Brennstoffe durch unvollständige Verbrennung brennbare Gase gewonnen werden, die erst im weiteren Verlaufe zur vollständigen Verbrennung gelangen und so die Flamme bilden. Dort wo eine vollständige Verbrennung eines festen Brennstoffes erzielt wird, ohne daß vorher brennbare Gase erzeugt werden, dort gibt es keine Flamme.

Um die Natur der Flammen noch klarer zu machen, denken wir uns einen Raumtheil Sauerstoffgas und zwei Raumtheile Wasserstoffgas innig gemischt und entzündet oder noch besser gleiche Raumtheile Chlorgas und Wasserstoffgas im Dunkeln gemengt und plötzlich dem Sonnenlichte oder einer entsprechend wirksamen künstlichen Lichtquelle ausgesetzt. Fast im Momente (besonders bei der letzteren Mischung) erfolgt die chemische Vereinigung. Ein blasser Lichtschein durchzuckt das Gasgemenge, es erfolgt eine Explosion und alles ist vorüber.

Man könnte nun leicht versucht sein, den erwähnten blassen Lichtschein für eine Flamme zu halten, und dennoch ist er dies eigentlich nicht. Eine Flamme entsteht nämlich erst dann,

wenn sich gasförmige brennbare Stoffe mit einer beliebigen Geschwindigkeit in einem sauerstoffhältigen Gase vorwärts bewegen, so daß nur an der Berührungsfläche (oder richtiger gesagt an der Berührungszone *) beider Gase die Verbrennung vor sich geht. — Die Flamme wird somit um so länger, je schneller sich das brennbare Gas fortbewegt, je weniger intensiv Brenngas und Verbrennungsgas (so wollen wir Kürze halber das brennbare und das sauerstoffhältige Gas bezeichnen) in einander eindringen, also auch je langsamer die Verbrennung erfolgt. Somit ist die Flamme also eigentlich jene Zone, in welcher die Verbrennung erfolgt, die Verbrennungszone.

Das „Verbrennungsgas", wie wir es oben bezeichnet haben, ist wohl in den seltensten Fällen reiner Sauerstoff (z. B beim Knallgasgebläse), sondern meistens atmosphärische Luft, welche (neben einem variablen Wasser- und Kohlensäuregehalt) durchschnittlich besteht aus

21 Vol %	oder	23 Gewicht %	Sauerstoff und
79 „ „	„	77 „ „	Stickstoff
100 „ „	„	100 „ „	

Man nennt nun jene Luftmenge, welche stöchiometrisch gerade hinreichen würde, um den Brennstoff vollständig zu verbrennen, die „zur vollständigen Verbrennung theoretisch nöthige Luftmenge", und berechnet dieselbe in folgender Weise:

Ein Atom Kohlenstoff braucht zur Bildung von Kohlensäure 2 Atome Sauerstoff, d. h. 12 Gewichtstheile Kohlenstoff, benöthigen $2 \times 16 = 32$ Theile Sauerstoff, oder 1 Gewichtstheil Kohlenstoff benöthigt $\frac{32}{12} = 2{\cdot}667$ Gewichtstheile Sauerstoff zur vollständigen Verbrennung. Ebenso braucht ein Gewichtstheil Wasserstoff (1 Atom) 8 Gewichtstheile Sauerstoff ($^1/_2$ Atom) zur vollständigen Verbrennung.

Nun entsprechen aber einem Gewichtstheile Sauerstoff 4·33 Gewichtstheile trockene atmosphärische Luft (nach Gruner); somit benöthigt:

1 Gewthl. Kohlenstoff mindestens $2{\cdot}667 \times 4{\cdot}33 = 11{\cdot}548$ Gewichtstheile trockene Luft

1 Gewthl. Wasserstoff mindestens $8 \times 4{\cdot}33 = 34{\cdot}640$ Gewichtstheile trockene Luft

zur vollständigen Verbrennung.

*) Da ja die beiden Gase bis auf eine gewisse Tiefe in einander eindringen.



Somit ist die Minimalluftmenge L, welche gerade zur vollständigen Verbrennung von 1 Kilogramm eines Brennstoffes hinreicht:

$$L = \frac{11·548\ C + 34·640\ H}{100}$$

worin C den Procentgehalt des Brennstoffes an Kohlenstoff, H jenen an disponiblem Wasserstoffe (d. h. jenen Wasserstoffrest welcher übrig bleibt, wenn man sich den ganzen in dem Brennstoffe vorhandenen Sauerstoff mit Wasserstoff zu Wasser verbunden denkt und diesen quasi als Wasser vorhanden gedachten Wasserstoff vom Gesammt-Wasserstoffgehalte abzieht) desselben bedeutet. Wenn man bedenkt, daß 1 m^3 Luft bei 760 *mm* Barometerstand und 0° C. 1·2936 *kg* wiegt, so ergibt sich hieraus für die Temperatur t (° C.) und den Barometerstand b (*mm*) das dem Gewichte L (*kg*) entsprechende Luftvolumen L_v zu

$$L_v = 1·2936\ L\ \frac{760\ (1 + 0·00366\ t)}{b}\ \text{Kubikmeter.}$$

Eine Umrechnung, zu welcher man sich übrigens vortheilhaft der im Anhange mitgetheilten Tabellen bedienen kann.

Zur Berechnung des theoretischen Luftquantums bei vollständiger Verbrennung dürfte die nachfolgende kleine, von Prof. v. Ehrenwerth berechnete Tabelle nicht unerwünscht sein, in welcher auch solche Stoffe, die dem gewöhnlichen Sprachgebrauche nach nicht als Brennstoffe gelten, Aufnahme gefunden haben.

per 1 *kg* untenstehende Brennstoffe	Nothwendige Menge *kg*		Verbrennungsproducte		Stickstoff aus der Luft *kg*
	Sauerstoff	trockene Luft	Zusammensetzung	*kg*	
Kohlenstoff	1·333	5·777	CO	2·333	4·444
"	2·667	11·555	CO_4	3·667	8·888
Kohlenoxyd	0·571	2·472	CO_2	1·571	1·901
Wasserstoff	8·000	34·664	H_2O	9·000	26·664
Leichter Kohlenwasserstoff, CH_4	4·000	17.332	CO^2 H_2O	2·750 2·250	13·332
Schwerer Kohlenwasserstoff C_2H_4	3·429	14·848	CO_2 H_2O	3·143 1·286	11·419
Eisen	0·286	1·238	Fe O	1·286	0·952
"	0·429	1·857	Fe_2O_3	1·439	1·428
Silicium	1·143	5·064	SiO_2	2·143	3·921
Phosphor	1·290	5·586	P_2O_5	2·290	4·296
Mangan	0·291	1·221	Mn O	1·291	0·969
"	0·582	2·522	MnO_2	1·582	1·958

Wir haben oben die Berechnung dem Gewichte nach durchgeführt und mußten schließlich den Uebergang auf Volumverhältnisse, mittelst einer ziemlich complicirten Formel bewirken. Wir können dieselbe Berechnung auf einem weit einfacheren Wege in der Weise durchführen, daß wir vom Anfang an auf Gasvolumen übergehen.

Bedenken wir nämlich daß die Angaben über das Volum der Verbrennungsluft ohnedem fast immer auf 0° C. Temperatur und normalen Barometerstand reducirt werden, so brauchen wir uns blos gegenwärtig zu halten, daß in unserer Breite (45°) und bei normalem Druck und Temperatur

1 m^3 Wasserstoff wiegt . . . . 0·089523 *kg*
1 „ hypothetisches Kohlenstoffgas wiegt*) . 1·071948 „

somit repräsentirt unter den obigen Bedingungen:

1 *kg* (oder Gramm) Wasserstoff . . . . . . 11·1703 m^3 (oder Liter)
1 *kg* (oder Gramm) Kohlenstoff . . . . . . 0·9329 m^3 (oder Liter)

Ein Beispiel soll die Art der Berechnung zeigen. Wir hätten eine Kohle von nachfolgender Zusammensetzung vorliegen:

Kohlenstoff	75·56%
Wasserstoff	3·61 „
Sauerstoff	9·23 „
hygroskopisches Wasser	1·56 „
Stickstoff	0·76 „
Asche	9·28 „
	100·00 „

Bedenkt man, daß das Wasser aus 8 Gewichtstheilen Sauerstoff und 1 Gewichtstheil Wasserstoff besteht, so hat man (nach Hinweglassung der unverbrennlichen Bestandtheile) den Procentgehalt der Kohle an brennbaren Stoffen:

---

*) Das Gewicht von 2 m^3 Methan beträgt . . . . 1·430040 *kg*
dieselben sind entstanden aus 4 m^3 Wasserstoff, welche wiegen. . . . . 0·358092 „
und aus 1 m^3 hypothetischem Kohlenstoffgas, welches somit wiegen muß . . . . 1·071948 *kg*



Kohlenstoff, wie oben . . . . 76·56%

Disponibler Wasserstoff:

Die Kohle enthält 9·23% Sauerstoff, welche zur Bildung von Wasser $\frac{9\cdot23}{8} = 1\cdot15\%$ Wasserstoff erfordern; somit ist der disponible Wasserstoff . . . . . 3·61 — 1·15 = ... 2·46%

1 *kg* dieser Kohle repräsentirt somit an zu verbrennenden Substanzen (bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand):

Kohlenstoff (Gas) 0·7556 × 0·9329 = 0·705 m^3
Wasserstoff (disponibler) 0·0246 × 11·1703 = 0·275 „

Nun erfordert 1 Volum Kohlengas zur vollständigen Verbrennung 2 Volumen Sauerstoff, während 1 Volum Wasserstoff nur ½ Volum Sauerstoff benöthigt. Somit brauchen

0·705 m^3 Kohlengas	. . . . . .	1·410 m^3 Sauerstoff
0·275 „ Wasserstoffgas	. . . . .	0·137 „ „
1 *kg* Kohle	. . . .	1·547 m^3 Sauerstoff

oder, weil die atmosphärische Luft auf 21 Volthl. Sauerstoff 79 Volthl. Stickstoff enthält, $\frac{100 \times 1\cdot547}{21} = 7\cdot367$ m^3 Luft von 0° Temperatur und bei 760 *mm* Barometerstand gemessen.

Der Uebergang zum Gewichte ist in jedem Momente wieder mit Leichtigkeit durchzuführen. Wir wollen dies am Schlußresultate unserer Berechnung zeigen:

1 m^3 trockener Luft wiegt bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand am Meeresspiegel und bei mittler geographischer Breite (45°) nach Tabelle XXXV des Anhanges 1·293052 *kg*; somit erfordert 1 *kg* der obigen Kohle zu ihrer vollständigen Verbrennung: 7·367 × 1·293052 = 9·5259 *kg* trockener atmosphärischer Luft.

Hier dürfte es am Platze sein als allgemeinen Anhaltspunkt anzuführen, daß der theoretische Luftbedarf in Kubikmetern bei 15 C. beträgt:

für 1 *kg* Kohlenstoff . . . . . 9·7 m^3 Luft
„ 1 „ Wasserstoff . . . . . 28·0 „ „

also durchschnittlich für:

1 *kg* Holz (mit 20% hygroskopischem Wassergehalt) 5·2 m^3 Luft
1 „ Holzkohle . . . . 9·0 „ „
1 „ Steinkohle . . . . 9·0 „ „
1 „ Koke . . . . 9·0 „ „
1 „ Braunkohle . . . . 7·3 „ „
1 „ Torf . . . . 7·3 „ „

Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß die vorstehenden Zahlen nur zur Aufstellung von Überschlägen benützt werden dürfen, daß aber bei allen Heizversuchen die theoretisch nöthige Luftmenge stets aus der Analyse des Brennstoffes berechnet werden muß.

Diese theoretisch gefundene Luftmenge reicht jedoch in der Praxis nie aus, um vollständige Verbrennung zu erzielen, was hauptsächlich daher rührt, weil sich nie eine so innige Mischung von Brennmaterialien und Verbrennungsluft herstellen läßt, daß der Luftsauerstoff vollständig ausgenützt werden könnte.

Daß übrigens, selbst bei der innigsten Mischung unter gewissen Umständen die theoretisch nöthige Sauerstoffmenge nicht hinreicht, eine vollständige Verbrennung zu erzielen, hat Bunsen gezeigt (Gasometrische Methoden.)

Seine Versuche ergaben folgende Resultate:

Nummer des Versuches	Volum-Zusammensetzung des explosiblen Gasgemisches	Volumtheile beigemengtes Gas	Temperatur-Maximum der Verbrennung $t_1 - t$	Verbrannter Antheil des Gasgemenges	Mittel	Abweichung vom Mittel	Atmosphärendruck
2	2/3 Vol. CO 1/3 „ O	0·0000 Vol.	3172° C	0·351		+0·0194	10·1
1	2/3 „ CO 1/3 „ O	0·0000 „	2893° „	0·319	0·3360	—0·0126	10·6
12	2/3 „ H 1/3 „ O	0·0000 „	2854° „	0·338		+0·0064	9.7
13	2/3 „ H 1/3 „ O	0·0000 „	2833° „	0·336		+0·0044	9·5
3	2/3 „ CO 1/3 „ O	0·1079 „ O	2558° „	0·314		—0·0176	8·6

Nummer des Versuches	Volum-Zusammensetzung des explosiblen Gasgemisches	Volumtheile beigemengtes Gas	Temperatur-Maximum der Verbrennung $t_1 - t$	Verbrannter Antheil des Gasgemenges	Mittel	Abweichung vom Mittel	Atmosphärendruck
8	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	0·6857 Vol. CO	2471° C	0·460		—0·0421	8·8
4	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	0·8554 " O	2325° "	0·478		—0·0241	8·2
5	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	1·0861 " O	2117° "	0·490		—0·0121	7·6
11	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	1·2563 " N	2084° "	0·517		+0·0129	7·6
14	$^2/_3$ " H $^1/_3$ " O	1·2599 " N	2024° "	0·547	0·5021	+0·0429	7·3
10	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	1·2563 " N	1909° "	0·470		—0·0321	7·3
6	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	1·7145 " O	1726° "	0·520		+0·0179	6·5
7	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	2·1559 " O	1460° "	0·512		+0·0099	5·7
9	$^2/_3$ " CO $^1/_3$ " O	3·1629 " CO	1146° "	0·527		+0·0249	4·7

Indem wir eine weitere Besprechung dieser Versuche auf später verschieben, wollen wir nur erwähnen, daß bei jenen Versuchen, bei welchen durch die Verbrennung eine Temperatur von 2558° bis 3033° erzielt wurde, nur $^1/_3$ des vorhandenen Wasserstoffes oder Kohlenoxydgases verbrannte, während bei jenen Versuchen, bei welchen durch Beimengung nicht entzündlicher Gase die Maximalverbrennungstemperatur auf 2471° bis 1146° herabgedrückt wurde, gerade die Hälfte der obigen Gase zur Verbrennung gelangte.

Von diesem Umstande, daß die theoretisch gerade nöthige Luftmenge zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung doch nicht hinreicht, rührt auch die Thatsache her, daß die Analysen von Verbrennungsgasen, welche dadurch erzeugt wurden, daß die, die theoretische Menge nicht oder nicht erheblich überschreitende

Verbrennungsluft eine nicht allzuhohe Schichte von Brennstoffen zu durchstreichen hat, neben Kohlensäure, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffen und freiem Wasserstoffe auch freien Sauerstoff häufig nachweisen.

Bezeichnet man das wirklich aufgewendete Luftgewicht mit $L_1 = n\,L$, so ist:

bei Gasfeuerungen und Halbgasfeuerungen $1{\cdot}3 < n < 1{\cdot}7$
„ guten Rostfeuerungen . . . . $1{\cdot}8 < n < 2{\cdot}2$
„ schlechten „ „ . . . . $2{\cdot}2 < n < 3$
ja sogar manchmal $n = 3$ bis $4{\cdot}5$.

Zum Schlusse dieses Capitels möge noch erwähnt werden, daß bei der unvollkommenen Verbrennung der gewöhnlichen Brennstoffe auftreten:
Kohlenstoffhältiger Rostdurchfall (oft noch mit 70% und mehr Kohlenstoff) Theer, Flugruß, ferner an gasförmigen Producten: Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe und freier Wasserstoff.

Zur Kenntniß dieser Producte mögen die nachfolgenden Zahlen mitgetheilt sein.

Steinkohlentheer im Mittel, nach R. Wagner

Benzol	1·5 %
Naphta	35 „
Naphtalin	22 „
Anthracen	1 „
Phenylsäure	9 „
Pech	31·5 „
	100·0 „

Vom Braunkohlentheer ist mir keine Analyse bekannt. Nach der Chemiker Zeitung (5. Band, p. 417) gewinnt man aus 100 *kg* Braunkohlentheer:

10—11 *kg*	Hartparaffin (Schmelzpunkt 54—60°)
3— 4 „	Mittel „ („ „ 45—54°)
circa 4 „	Weich „ („ „ ca 40°)
15 „	Solaröl (Brennöl) von 0·83 spr. Gew.
7½ „	Gelböl von 0·84—0·86 spec. Gew.
30 „	Roth- und Dunkel-Paraffin (Gas- und Schmieröl) von 0·87—0·90 spec. Gew.
1 „	Theer- und Kreosotöl.

Summa ca 70 *kg*;
der Rest ist Gas, Coke und Verlust.

Das Paraffin enthält circa 85% Kohlenstoff und 15% Wasserstoff, das Solaröl und Gelböl sind dem Petroleum ähnlich zusammengesetzt.

Der Steinkohlenruß ist nach Hutton (polyt. Centralblatt 1870, p. 630) wie folgt zusammengesetzt:

Steinkohlenruß von:	London	Glasgow
Kohlen	53·18	35·7
Theer und Oel	18·00	15·0
Ammoniak	1·75	2·8
Kali	0·20	0·3
Natron	0·34	0·3
Kalk	1·00	0·8
Magnesia	0·30	Spur
Phosphorsaurer Kalk. Thonerde	2·08	3·2
Eisen	0·40	0·7
Schwefelsäure	4·60	7·9
Chlor	Spur	0·4
Rhodan	0·25	0·0
Kohlensäure	0·70	Spur
Sand	14·40	25·7
Wasser	2·80	7·2
Summe	100·00	100·0

VI. Capitel.

Thermochemische Grundlehren; — Verbrennungswärmen, Bildungswärmen, Zersetzungswärmen.

Bekanntlich werden so ziemlich alle physikalischen Vorgänge von Veränderungen im Wärmezustande der hierbei betheiligten Körper begleitet. Warum dies der Fall ist, läßt sich leicht einsehen, wenn man bedenkt, daß es fast unmöglich ist einen Körper als Ganzes in Bewegung zu versetzen, ohne auch selbstständige Bewegungen seiner Moleküle zu veranlassen — und diese sind ja eben Wärme — oder richtiger gesagt ohne die selbständigen Bewegungen seiner Moleküle in irgend einer [illegible] zu modificiren, gleichgiltig ob sie vergrößert oder verring

werden. Alle Bewegungshindernisse z. B. sind Quellen von Wärme (Reibung, elektrischer Leitungswiderstand, 2c.), denn sie sind die Ursache, daß ein Theil der vorhandenen (mechanischen oder elektrischen u. s. w.) Energie in Wärme umgesetzt wird.

Allein nicht nur die physikalischen, sondern, u. zw. noch in viel höherem Grade auch die chemischen Vorgänge sind von thermischen Erscheinungen begleitet. Dies ist übrigens auch ganz natürlich, da ja die chemischen Vorgänge nichts anderes sind als Veränderungen in der atomistischen Zusammensetzung der einzelnen Moleküle, also Veränderungen, die ganz undenkbar sind, ohne gleichzeitige und meist recht erhebliche Lagenveränderungen der Moleküle selbst, also ohne gleichzeitige Aenderungen im Bewegungszustande derselben.

Heute ist bereits ein eigener Wissenszweig entstanden, die Thermochemie, welche sich die Aufgabe gestellt hat, diese Verhältnisse zu studiren und die hiebei herrschenden Gesetze zu ermitteln.

Um in die, bei dem Eintreten irgend einer chemischen Reaction stattfindenden calorischen Vorgänge einen näheren Einblick zu gewinnen, wollen wir nach Pfaundler die Berechnung der Verbindungswärme von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser durchführen.

Die Gesammtwärmemenge, welche frei wird, wenn 1 g. Wasserstoffgas mit 8 Grammen Sauerstoffgas bei 0° und 760 *mm* Druck sich zu Wasser von 0° C. vereinigen, wurde zu 34462 Calorien gemessen. Diese Gesammtwärme setzt sich zusammen aus der eigentlichen Verbindungswärme, aus der Wärme, welche von der äußeren Arbeit stammt (welche in diesem Falle negativ ist, weil das Volum nach der Verbindung kleiner ist, als vorher), endlich aus der Wärme, welche der gebildete Wasserdampf abgibt, um zu Wasser von 0° C. verdichtet zu werden.

Um die eigentliche Verbindungswärme zu isoliren, denken wir uns die Verbindung bei einer Temperatur vor sich gehend, welche so hoch ist, daß dabei der Wasserdampf sich wie ein vollkommenes Gas verhält, also etwa bei 200° C.

Bringen die bei 0° zusammengeführten Gase bei der Verbrennung 34462 Calorien hervor, so bringen sie bei einer

Anfangstemperatur von 200° offenbar um so viel Wärme mehr hervor, als man ihnen zuführen mußte, um sie von 0° auf 200° zu bringen. Diese Wärme betrage q_1, also die entwickelte Wärmemenge $34462 + q_1$. Würde man den gebildeten Wasserdampf nicht verdichten und auf 0° abkühlen, sondern bei 200° belassen, so würde die abgegebene Wärme um den Betrag q_2, der erforderlich wäre, um 9 Gramm Wasser von 0° in Dampf von 200° zu verwandeln, kleiner ausfallen. Die Gesammtwärme für 200° würde also dann sein $34462 + q_1 - q_2$.

Endlich noch ein Umstand. Das Volum der Gase von 200° wird nach der Vereinigung zu Wasserdampf gleicher Temperatur und gleichen Druckes auf zwei Drittel verkleinert. Im geschlossenen Raum von constantem Volum würde also der Druck auf zwei Drittel verkleinert sein. Um daher den Druck wieder auf den vorigen zu bringen, müssen wir den Dampf comprimiren und dabei eine Arbeitsgröße auf denselben übertragen, wozu ein Wärmeaufwand q_3 erforderlich ist, den wir ebenfalls von der Gesammtwärme bestreiten müssen. Mithin wird die übrig bleibende Gesammtwärme, welche nun identisch ist mit der Verbindungswärme, bei 200° und 760 *mm* Barometerstand betragen:

$$Q = 34462 + q_1 - q_2 - q_3.$$

Die Berechnung von q_1 und q_2 ist nun einfach folgende:

$$q_1 = (1 \times 3{\cdot}409 \times 200) + (8 \times 0{\cdot}2175 \times 200) =$$
$$= 681{\cdot}8 + 348{\cdot}0 = 1029{\cdot}8 \text{ Calorien}$$

wobei 200 die Temperatur in Graden Celsius, 1 und 8 das Gewicht in Grammen, 3·409 und 0·2175 aber die specifischen Wärmen beziehungsweise von Wasserstoff und Sauerstoff bedeuten.

$$q_2 = (9 \times 1{\cdot}005 \times 100) + (9 \times 536{\cdot}5) +$$
$$+ (9 \times 0{\cdot}4805 \times 100) = 904{\cdot}5 + 4828{\cdot}5 + 432{\cdot}5 = 6165{\cdot}5$$
Calorien.

Die Wärmemenge q_2 setzt sich nämlich zusammen aus jener Wärme, welche zur Erwärmung von 9 Gramm Wasser von 0° auf 100°, aus jener, welche zur Verdampfung der 9 Gramm 100° warmen Wassers, und endlich aus jener,

welche zur Erwärmung von 9 Gramm Wasserdampf von 100° auf 200° (also um 100°) erforderlich ist.

Die Berechnung von q^3 würde uns hier zu weit führen, sie liefert:

$$q_3 = 285{\cdot}8 \text{ Calorien.}$$

Mithin ist die Verbindungswärme von 1 Gramm Wasserstoff und 8 Gramm Sauerstoff bei 200° und 760 *mm* Druck:
$Q = 34462 + 1029{\cdot}8 - 6165{\cdot}5 - 285{\cdot}8 = 29040{\cdot}5$ Calorien.

Wahrscheinlich bleiben bei vollkommenen Gasen die so berechneten Verbindungswärmen von der Temperatur unabhängig. Sie können daher als Ausdruck der bei dem Verbindungsprocesse verbrauchten chemischen Energie betrachtet werden.

Als Maß der Affinität zwischen Wasserstoff und Sauerstoff dürfte man die oben berechneten Zahlen jedoch nicht ansehen. Die Verbindung von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas zu Wasserdampf ist nämlich strenge genommen nicht allein und ausschließlich ein Verbindungsvorgang, sondern beruht auf der Wechselzersetzung der Moleküle beider Gase, wie nachfolgende Gleichung zeigt:

$$H_2 + H_2 + O_2 = H_2O + H_2O$$

Der Vereinigung geht also mindestens der Zerfall der Sauerstoffmolecüle voraus und die von uns berechnete Verbindungswärme ist nur die algebraische Summe der durch die einzelnen Vorgänge entwickelten Wärmemengen.

Von den bei verschiedenen chemischen Processen auftretenden positiven oder negativen Wärmequantitäten („Wärmetönungen" nach Thomsen) interessiren uns hier hauptsächlich die sogenannten „Verbrennungswärmen", d. i. jene Wärmemengen, welche bei der Oxydation eines Körpers auftreten, ferner die „Bildungswärmen", das sind jene Wärmemengen, welche bei der Bildung seines Moleküles aus den Elementen frei oder gebunden werden.

Die wichtigsten dieser Zahlen enthalten die Tabellen des Anhanges.

Während man gewöhnlich die Bildungswärmen auf das Molekulargewicht der entstehenden Verbindung (in Grammen oder Kilogramm ausgedrückt) oder — besonders bei Verbrennungswärmen — auf die Gewichtseinheit des einen der auf-

einander wirkenden Körper bezieht, erschien es dem Verfasser für die Praxis bequem, sie auf die Gewichtseinheit der entstehenden Verbindung zu beziehen. Ist ja doch in der Praxis in den allgemeinsten Fällen die Gewichtsmenge der entstehenden Verbindung bekannt oder einfach zu ermitteln, und dann ist die im gegebenen Falle statthabende Wärmeentwicklung durch eine einfache Multiplication zu erfahren. Doch auch für die Wissenschaft dürften die auf die Gewichtseinheit der entstehenden Verbindung bezogenen Bildungswärmen, die wir zum Unterschiede von den gewöhnlichen, als „specifische Bildungswärmen" bezeichnen wollen, einigermaßen interessant sein, indem sie die, bei Bildung der Masseneinheit einer Verbindung entwickelte oder verbrauchte Wärmemenge darstellen, also die Bildungswärme aller Verbindungen auf eine gemeinsame Einheit beziehen, und daher auch mit einander vergleichbarer machen.

Bevor wir die specifischen Bildungswärmen einiger der wichtigsten Verbindungen aufführen und zu dem angedeuteten Vergleiche schreiten, wollen wir in Kürze die hauptsächlichsten Gesetzmäßigkeiten, welche bisher bezüglich der Bildungswärmen gefunden wurden, zusammenstellen.

Zunächst fand Thomsen, daß sich Reihen von Verbindungen aufstellen lassen, in welchen die Bildungswärmen als einfache Multipla einer und der nämlichen Grundzahl erscheinen. Einige Beispiele werden genügen. *)

$$(H, Cl) = + 1 \times 22000$$
$$(N, O) = - 2 \times 22015$$
$$(N_2, O_3) = - 3 \times 22020$$
$$(H_2, C_2H_2) = + 2 \times 22065$$
$$(CO, O) = + 3 \times 22266$$

$$(NH_3, H_2S, Aq) = 1 \times 19375$$
$$(NH_3, HCl, Aq) = 2 \times 19015$$
$$(NH_3, HJ, Aq) = 2 \times 19955$$
$$(NH_3, HBr, Aq) = 2 \times 20325$$
$$(H_2, Cl_2, Aq) = 4 \times 19660$$

*) Zu diesen Daten möge erwähnt werden, daß man die Bildungswärme eines Molekülеs simbolisch dadurch ausdrückt, daß man die chemischen Zeichen der einzelnen Stoffe, aus welchen die betreffende Verbindung entstanden ist, durch Beistriche getrennt neben einander schreibt und in eine Klammer einschließt. Aq. bedeutet die Gegenwart von viel Wasser.



Thomsen („Ueber die Multiplen in den chemischen Wärmetönungen“ Ber. d. dtsch. chem. Ges., VII., p. 460) resumirt die verschiedenen derartigen Facta mit folgenden Worten:

„Zahlreiche Beispiele aus den verschiedenen Theilen der Thermochemie haben dargelegt, daß analoge chemische Processe von Wärmetönungen begleitet sind, die entweder selbst Multipla gemeinschaftlicher Constanten sind, oder deren Differenzen sich als solche Multiplen herausstellen. Bei der Verbindung der Körper ändert sich oft der physikalische Zustand derselben, diese Aenderung muß nothwendig das Resultat beeinflussen; wenn jedoch derartige Aenderungen sich compensiren, kann die totale Wärmetönung als ein Multiplum der Constanten erwartet werden. Am häufigsten wird eine solche Compensation z. B. bei Substitutionen eines Elementes für ein anderes eintreten, deshalb zeigen sich gerade die Wärmetönungen der Substitutionen als Multipla gemeinschaftlicher Constanten.

Aehnliche Regelmäßigkeiten wurden auch von anderen aufgefunden.

Nächst wichtig erscheinen die beiden folgenden von Th. Carnelly aufgestellten Gesetze.

1. Die Bildungswärmen der Verbindungen der geraden Reihen in Mendelejeff's Tabelle*) steigen mit dem Atomgewicht der positiven Elemente, die der ungeraden Reihen fallen. (Doch gibt es auch Ausnahmen von dieser Regel.)

2. Die auf ein Atom Chlor oder sein Aequivalent berechneten Bildungswärmen der normalen Chloride, Bromide, Jodide, Oxyde und Sulfide der Elemente sind eine periodische Function der Atomgewichte des positiven Elementes, und zwar fällt die Bildungswärme in jeder Horizontalreihe vom positiven zum negativen Ende. Ausnahmen hievon machen nur Kupfer, Silber und Gold (diese Elemente jedoch so consequent, daß man zu glauben versucht wäre, daß ihnen ein falscher Platz in der Reihe angewiesen worden sei). Die Periodicität in der Bildungswärme der Chloride, Bromide, Jodide wurde übrigens auch von A. P. Laurie constatirt.

*) Mendelejeff hat (ebenso wie L. Meyer) die Elemente nach steigenden Atomgewichten geordnet, wobei sich herausstellte, daß die physikalischen und chemischen Eigenschaften derselben periodische Functionen des Atomgewichtes sind. Diese Anordnung ist hier gemeint.



Wie die umstehenden Zusammenstellungen zeigen, ergeben sich für die specifischen Bildungswärmen der Halogenverbindungen die nachfolgenden Regeln:

1. Dieselben sind — gleiche positive Elemente vorausgesetzt — für die Chloride am größten, für die Jodide am kleinsten.

2. Sie sind — sowie fast alle Eigenschaften der Elemente — ebenfalls eine periodische Function des Atomgewichtes.

3. Das Maximum der specifischen Bildungswärme fällt bei den Chloriden in die II. Gruppe, bei den Bromiden und Jodiden aber in die I. Gruppe. (Eine Ausnahme macht nur die Bildungswärme von Ag J.)

4. Vom Maximum an fällt die specifische Wärme ununterbrochen, um sich dann plötzlich wieder zu einem Maximum zu erheben.

5. In jeder Untergruppe fällt die specifische Bildungswärme mit steigender Reihe, also auch mit wachsendem Molekulargewichte der entstehenden Verbindung. Eine Ausnahme hievon bilden die Verbindungen von Chlor, Brom und Jod untereinander (was jedoch selbstverständlich ist, wenn man bedenkt, daß die Verwandtschaft zwischen Chlor und Jod größer ist, als zwischen Chlor und Brom) sowie Jodsilicium.

Der Vollständigkeit halber mögen die bekannten specifischen Bildungswärmen der in den umstehenden Zusammenstellungen nicht aufgeführten Chlorüre, Bromüre und Jodüre mitgetheilt werden:

Chlorverbindungen	Bromverbindungen	Jodverbindungen
$(Cu^2,Cl^2) = 333{\cdot}7$	$(Cu_2,Br_2) = 208{\cdot}6$	$(Cu_2,J_2) = 115{\cdot}9$
$(Au,Cl) =$?	$(Au,Br) = -2{\cdot}8$	$(Au,J) = -17{\cdot}0$
$(Hg_2,Cl_2) = 175{\cdot}2$	$(Hg_2,Br_2) =$?	$(Hg_2,J_2) =$?
$(Tl,Cl) = 204{\cdot}1$	$(Tl,Br) = 145{\cdot}4$	$(Tl,J) = 91{\cdot}5$
$(Sn,Cl_2) = 429{\cdot}7$	$(Sn,Br_2) =$?	$(Sn,J_2) = 145{\cdot}1$
$(J,Cl_3) = 70{\cdot}0$	—	—
$(Fe,Cl_2) = 646{\cdot}0$	$(Fe,Br_2) = 321{\cdot}1$	$(Fe,J_2) = 129{\cdot}0$
$(Co,Cl_2) = 590{\cdot}5$	$(Co,Br_2) =$?	$(Co,J_2) =$?
$(Ni,Cl_2) = 577{\cdot}7$	$(Ni,Br_2) =$?	$(Ni,J_2) =$?

Specifische Bildungswärme der Chloride.

Reihe	0. Gruppe	I. Gruppe	II. Gruppe	III. Gruppe	IV. Gruppe	V. Gruppe	VI. Gruppe	VII. Gruppe	VIII. Gruppe
1	(H, Cl) gasf. 604·4	(Li, Cl) 2207·3	(Be, Cl_2) —	(B, Cl_3) 887·3	(C, Cl_4) —	(N, Cl_3) 324·9	(O, Cl_2) gasf. — 207·8	(F, Cl) —	—
2	—	(Na, Cl) 1671·2	(Mg, Cl_2) 2537·8	(Al_2, Cl_6) 1205·5	flüss. = (Si, Cl_4) 929·1	(P, Cl_3) 547·4	(S, Cl_2) —	(Cl, Cl) —	—
3	—	(K, Cl) 1415·7	(Ca, Cl_2) 2257·6	(Sc) —	(Ti, Cl_4) —	(V, Cl_5) —	Cr —	(Mn, Cl_2) 895·9	(Fe_2, Cl_6) 590·9 (Co_2, Cl_6) — (Ni_2Cl_6) —
4	—	(Cu, Cl_2) 522·5	(Zn, Cl_2) 968·2	(Ga_2, Cl_6) —	—	(As, Cl_3) 397·7	(Se, Cl_2) —	(Br, Cl) 39·6	—
5	—	(Rb, Cl) —	(Sr, Cl_2) 1504·0	(Y^2, Cl_6) —	(Zr, Cl_4) —	(Nb, Cl_5) —	Mo —	—	(Ru, Cl_4) — (Rh, Cl_4) — (Pd, Cl_2) —
6	—	(Ag, Cl) 204·7	(Cd, Cl_2) 683·8	(In_2, Cl_6) —	(Sn, Cl_4) 491·2	(Sb, Cl_3) 277·0	(Te, Cl_2) —	(J, Cl) 75·1	—
7	—	(Cs, Cl) —	(Ba, Cl_2) 1127·3	(Ce_2, Cl_6) —	(La, Cl_4) —	—	Di —	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	Er —	Yb —	Ta —	W —	—	(Os, Cl_4) — (Jr, Cl_4) — (Pt, Cl_4) —
10	—	(Au, Cl_3) 72·9	(Hg, Cl_2) 300·9	(Tl, Cl_3) —	(Pb, Cl_4) 298·8	(Bi, Cl_3) —	—	—	—
11	—	—	—	—	Th —	—	—	U —	—

Specifische Bildungswärme der Bromide.

Reihe	0. Gruppe	I. Gruppe	II. Gruppe	III. Gruppe	IV. Gruppe	V. Gruppe	VI. Gruppe	VII. Gruppe	VIII. Gruppe
1	(H. Br) 164·6	Li —	Be —	(B, Br^3) 283·4	C —	N —	O —	F —	—
2	—	(Na, Br) 875·0	(Mg, Br_2) 752·6	(Al_2, Br_6) 477·7	(Si, Br_4) 340·9	(P, Br_3) 197·0	S —	(Cl, Br) 39 6	—
3	—	(K, Br) 815·0	(Ca, Br^2) 752·4	Sc —	Ti —	V —	Cr —	(Mn, Br_2) 463·0	Fe — Co — Ni —
4	—	Cu —	(Zn, Br_2) 387·6	Ga —	—	(As, Br_3) 188·6	Se —	Br —	—
5	—	Rb —	(Sr, Br_2) 666·6	Y —	Zr —	Nb —	Mo —	—	Ru — Rh — Pd —
6	—	(Ag, Br) 142·8	(Cd, Br_2) 306·5	Jn —	(Sn, Br_4) 263·0	Sb —	Te —	(J, Br) 11·8	—
7	—	Cs —	(Ba, Br_2) 568·5	Ce —	La —	—	Di —	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	Er —	Yb —	Ta —	W —	—	Os — Ir — Pt —
10	—	Au —	(Hg, Br_2) 160·2	Tl —	Pb —	Bi —	—	—	—
11	—	—	—	—	Th —	—	—	U —	—

Specifische Bildungswärme der Jodide.

Reihe	0. Gruppe	I. Gruppe	II. Gruppe	III. Gruppe	IV. Gruppe	V. Gruppe	VI. Gruppe	VII. Gruppe	VIII. Gruppe
1	(H, J) — 6·2	Li —	Be —	B —	C —	N —	O —	F —	—
2	—	(Na, J) 493·3	(Mg, J_2) 388·4	(Al_2, J_6) 118·6	(Si, J_4) 104·4	(P, J_3) 65·5)	S —	(Cl, J) 75·1	—
3	—	(K, J) 512·0	(Ca, J_2) 401·3	Sc —	Ti —	V —	Cr —	(Mn, J_2) 226·5	Fe — Co — Ni —
4	—	Cu —	(Zn, J_2) 188·0	Ga —	—	(As, J_3) 65·8	Se —	(Br, J) 11·8	—
5	—	Rb —	(Sr, J_2) 392·9	Y —	Zr —	Nb —	Mo —	—	Ru — Rh — Pd —
6	—	(Ag, J) 80·8	(Cd, J_2) 147·7	Jn —	Sn —	Sb —	Te —	J —	—
7	—	Cs —	Ba —	Ce —	La —	—	Di —	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	Er —	Yb —	Ta —	W —	—	Os — Jr — Pt —
10	—	Au —	(Hg, J_2) 101·3	Tl —	Pb —	Bi —	—	—	—
11	—	—	—	—	Th —	—	—	U —	—

Welche Vortheile die Aufstellung der specifischen Bildungswärmen für die Praxis bietet, geht am einfachsten aus einem Beispiele hervor.

Die Bildungswärme des Wassers (bezogen auf 1 Molekül, also auf 18 Gewichtstheile Wasser) ist nach Thomsen 68360 Calorien, und es sei zu berechnen, wieviele Calorien bei der Verbindung von 14·37 *kg* Wasserstoff mit 115·16 *kg* Sauerstoff entwickelt werden. Will man dies aus der Thomsen'schen Zahl berechnen, so erfordert dies eine ziemlich umständliche Rechnung; es ist nämlich die freiwerdende Wärme:

$$W = (14{\cdot}37 + 115{\cdot}16)\,\frac{68360}{18} = 491\ 166{\cdot}6 \text{ Calorien.}$$

Stellt man die Bildungswärme für einen Gewichtstheil eines Bestandtheiles in Tabellen zusammen, so ist die Rechnung allerdings einfacher, allein man benöthigt dann für jede chemische Verbindung ebensoviele Werthe der Verbindungswärmen als dieselbe Bestandtheile enthält, wodurch die betreffenden Tabellen complicirter und unbequemer werden. In unserem Falle hätte man:

(H_2, O) bezogen auf 1 Gewichtstheil $H = 34180$ Calorien,
(H_2, O) bezogen auf 1 Gewichtstheil $O = 4272{\cdot}5$ Calorien

und daher

$$W = 14{\cdot}37 \times 34180 = 491\ 166{\cdot}6 \text{ Calorien}$$

oder

$$W = 115{\cdot}16 \times 4272{\cdot}5 = 491\ 166{\cdot}6 \text{ Calorien.}$$

Verwendet man endlich eine Zusammenstellung der specifischen Bildungswärmen, so braucht man für jede Verbindung nur eine einzige Zahl, und die Rechnung ist doch ziemlich einfach:

$$W = (14{\cdot}37 + 115{\cdot}16) \times 3797{\cdot}78 = 491\ 166{\cdot}6 \text{ Calorien.}$$

Wenn ein und dieselbe chemische Verbindung aus verschiedenen Componenten entstehen kann, wie z. B. CO_2 aus C und O_2 oder aus CO und O, sind natürlich auch die entsprechenden specifischen Bildungswärmen verschieden, und es ist auch am bequemsten, sich dieser verschiedenen Zahlen zu bedienen, obwohl man dieselben — allerdings durch Complication der Rechnungen auch umgehen könnte:



Hätten wir z. B. zu berechnen, welche Wärmemengen bei der Verbrennung von 7 Kilogramm Kohlenoxyd geliefert werden, so gelingt uns dies sehr einfach mittelst der specifischen Bildungswärme:

$(CO,O) = 1529$ Calorien.

Wir hätten nämlich, da 7 Kilogramm CO sich mit 4 Kilogramm O zu 11 Kilogramm Kohlensäure verbinden:

$W = 11 \times 1529 = 16819$ Calorien.

Doch hätten wir auch aus den specifischen Bildungswärmen

$(C,O_2) = 2203{\cdot}64$ Calorien und

$(C, O) = 1059{\cdot}80$ Calorien

denselben Werth erhalten können.

Es entstehen nämlich bei der Bildung von 11 *kg* Kohlensäure aus den Elementen

$W_1 = 11 \times 2203{\cdot}64 = 24240{\cdot}04$ Calorien.

Da die Verbindung aber nicht aus den Elementen, sondern durch die Verbrennung von 7 *kg* Kohlenoxyd entstanden ist, muß die producirte Wärmemenge um soviel Calorien kleiner sein, als bei der Bildung von 7 Kilogramm Kohlenoxyd aus den Elementen entwickelt würden, nämlich um:

$W_2 = 7 \times 1059{\cdot}86 = 7418{\cdot}60$ Calorien

Somit würden thatsächlich entwickelt worden sein:

$W = W_1 - W_2 = 24240{\cdot}04 - 7418{\cdot}60 =$
$= 16821{\cdot}48$ Calorien.

In vielen Fällen ist es bequem, die Bildungswärmen auf die Volumseinheit der entstandenen gasförmigen Verbindung zu basiren, da man dann oft calorische Berechnungen anstellen kann, ohne erst von den Gasvolumverhältnissen auf die Gewichtsverhältnisse übergehen zu müssen. Selbstverständlich beziehen sich dann die Bildungswärmen auf die Volumseinheit ($1 m^3$) des Gases bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand bei constantem Drucke.

Hätten wir in dem Beispiele des V. Capitels (p. 63) zu berechnen, welche Wärmemengen bei der Verbrennung von 100 m^3 des dort gegebenen Generatorgases entwickelt würden, so ließe sich dies ganz einfach wie folgt bewerkstelligen:

26·00 m^3 CO verbinden sich mit 13·00 m^3 Sauerstoff zu 26·00 m^3 CO_2; ferner

0·35 m^3 CH_4 zerlegen sich in 0·175 m^3 Kohlengas und 0·70 m^3 H, von welchem sich

0·175 m^3 Kohlengas verbinden mit 0·35 m^3 Sauerstoff zu 0·35 m^3 CO_2;

0·70 m^3 H verbinden mit 0·35 m^3 Sauerstoff zu 0·70 m^3 H_2O

endlich

12·53 m^3 H verbinden mit 6·265 m^3 Sauerstoff zu 12·53 m^3 H_2O.

Wir haben also folgende Reactionen zu betrachten:

a) Wärmeproducirende Reactionen.

$$\left.\begin{array}{l} 26{\cdot}00\ m^3\ CO + 13{\cdot}00\ m^3\ O_2 = 26{\cdot}00\ m^3\ CO_2 \\ 0{\cdot}175\ m^3\ C + 0{\cdot}35\ m^3\ O_2 = 0{\cdot}35\ m^3\ CO_2 \end{array}\right\} 26{\cdot}35$$

$$\left.\begin{array}{r} 0{\cdot}70 \\ 12{\cdot}53 \end{array}\right\} m^3\ H_2 + \left.\begin{array}{r} 0{\cdot}35 \\ 6{\cdot}265 \end{array}\right\} m^3\ O_2 = \left.\begin{array}{r} 0{\cdot}70 \\ 12{\cdot}53 \end{array}\right\} m^3\ H_2O$$

$$\overline{13{\cdot}23} \qquad \overline{6{\cdot}615} \qquad \overline{13{\cdot}23}$$

b) Wärmeconsumirende Reactionen.

$$0{\cdot}175\ m^3\ C + 0{\cdot}70\ m^3\ H = 0{\cdot}35\ m^3\ CH_4$$

Unsere Tabelle gibt für obige Reactionen per 1 m^3 des außerhalb der eckigen Klammern bezeichneten Gases die folgenden Werthe:

$[CO,O]_{CO_2}$ = 3007 Calorien
$[C,O_2]_{CO_2}$ = 4330·6 „
$[H_2,O]_O$ = 6125 „ (nach erfolgter Condensation zu Wasser von 0° C.)
$[H_4,C]_{CH_4}$ = 982·5 „
$[C,O]_{CO}$ = 1325·5 „

Wir haben also bei der Reaction:

$CO + O = CO_2$:	$26{\cdot}00 \times 3007 =$	78182 Calorien
$C + O_2 = CO_2$:	$0{\cdot}35 \times 4330{\cdot}6 =$	1515·7 „
$H_2 + O = H_2O$:	$6{\cdot}265 \times 6125 =$	38373·1 „
		118070·8 Calorien

hievon ab:

$CH_4 = C + H_4$: $0{\cdot}35 \times 982{\cdot}5 =$ 343·9 „

gibt die gesuchte Wärmeentwicklung von .. 117726·9 Calorien

Denselben Werth hätten wir auch erhalten durch die nachfolgende Art der Berechnung:

Wärmeproducirende Reactionen:

$C + O_2 = CO_2 : 26{\cdot}35 \times 4330{\cdot}6 = 114111{\cdot}3$ Calor.
$H_2 + O = H_2O :\ 6{\cdot}265 \times 6125 = 38373{\cdot}1$ „ $152484{\cdot}4$ Cal.

Wärmeconsumirende Reactionen:

$CO = C + O : 26{\cdot}00 \times 1325{\cdot}5 = 34463{\cdot}0$ „
$CH_4 = C + H_4 :\ 0{\cdot}35 \times 982{\cdot}5 = 343{\cdot}9$ „ $34806{\cdot}9$ „

Somit Wärmeentwicklung bei der Verbrennung von 100 m^3 der obigen Generatorgase ..... $117677{\cdot}5$ Cal.
oder fast genau wie oben, oder im Mittel ..... 117700 „

Anhangsweise muß zu diesem Capitel noch gezeigt werden, wie man sich mit Hilfe der Tabellen LXII und LXIII auch solche Bildungswärmen ermitteln kann, welche in den erwähnten Tabellen nicht enthalten sind. Einige Beispiele werden dies klar machen:

Will man wissen, welche Wärmetönung die Reaction: $CaO + H_2O = Ca\,O_2\,H_2$ liefert, so erfährt man dies einfach durch folgende Rechnung:

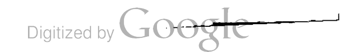
$$\begin{array}{lcrl} Ca + H_2 + O_2 & = & 216\,000 & \text{Calorien} \\ Ca \quad\quad + O & = & 132\,000 & \text{„} \\ \hline CaO + H_2 + O & = & 84\,000 & \text{Calorien} \\ H_2 + O & = & 69\,000 & \text{„} \\ \hline CaO + H_2\,O & = & 15\,000 & \text{Calorien} \end{array}$$

Ebenso findet man die Wärmetönung für die Reaction $2\ Fe\ O + O$ wie folgt:

$$\begin{array}{lcrl} Fe_2 + O_3 & = & \ldots\ldots \quad 191200 & \text{Calorien} \\ 2\,(Fe + O) & = & 2 \times 69000 = 138000 & \text{„} \\ \hline 2\,Fe\,O + O & = & 53\,200 & \text{Calorien} \end{array}$$

oder die Wärmetönung für die Reaction: $MnO + O$:

$$\begin{array}{lcrl} Mn + O_2 & = & 116\,200 & \text{Calorien} \\ Mn + O & = & 94\,800 & \text{„} \\ \hline Mn\,O + O & = & 21\,400 & \text{Calorien} \end{array}$$



VII. Capitel.

Berechnung der Verbrennungstemperatur (pyrometrischer Heizeffect). — Dissociation. — Entzündungstemperatur.

Aus der chemischen Zusammensetzung eines Brennstoffes, sowie aus der zu seiner Verbrennung erforderlichen Sauerstoff- oder Luftmenge läßt sich — unter der Voraussetzung, daß vollständige Verbrennung erzielt wurde — leicht die Verbrennungstemperatur (der sogenannte „pyrometrische Heizeffect") berechnen. Daß die so erhaltenen Zahlen nur sehr bedingungsweise Geltung haben, werden wir später ersehen.

Die Berechnung erfolgt einfach in nachstehender Weise:

Wenn die Wärmemenge Q bekannt ist, welche ein Körper bei seiner Abkühlung auf t abgibt, sowie sein Gewicht p und seine Temperatur T vor der Abkühlung, so kann man hieraus leicht seine mittlere specifische Wärme zwischen den Temperaturen T und t berechnen, denn es ist:

$$C_{T-t} = \frac{1}{p} \cdot \frac{Q}{T-t}$$

Ebenso kann man natürlich auch umgekehrt, wenn das Gewicht des Körpers, die von ihm abzugebende Wärme, sowie seine mittlere spezifische Wärme bekannt ist, auch die Temperatur berechnen, welche derselbe besitzt, nach der Gleichung:

$$T-t = \frac{Q}{p \cdot C_{T-t}}$$

Auf diesem Principe basirt nun auch die Berechnung des pyrometrischen Heizeffectes der Brennmaterialien, d. i. die Berechnung der Verbrennungstemperaturen. Sie erfolgt mit Zugrundelegung des zur Verbrennung hinreichenden theoretischen Sauerstoff- oder Luft-Quantums, indem man den absoluten Heizeffect, d. i. die Anzahl Calorien, welche bei der vollständigen Verbrennung von 1 *kg* des Brennstoffes geliefert werden, durch die Wärmecapacität, d. i. durch das Product aus der specifischen Wärme und dem Gewichte der Verbrennungsproducte dividirt.

Hienach würde die vollständige Verbrennung von 1 *kg* Kohlenstoff in reinem Sauerstoffe (bei constantem Drucke und der Anfangstemperatur 0° C.) eine Temperatur geben von:

$$t = \frac{8080}{3{\cdot}667 \times 0{\cdot}216} = 10201^{\circ}\ \text{C}.$$

während die Verbrennung desselben in der theoretisch nöthigen Luftmenge liefern würde:

$$t = \frac{8080}{3{\cdot}667 \times 0{\cdot}216 + 8{\cdot}929 \times 0{\cdot}244} = 2719^{\circ}\ \text{C}.$$

und eine Verbrennung mit dem doppelten Luftvolum:

$$t = \frac{8080}{3{\cdot}667 \times 0{\cdot}216 + 8{\cdot}929 \times 0{\cdot}244 + 11{\cdot}596 \times 0{\cdot}238} =$$

$$= \frac{8080}{0{\cdot}792 + 2{\cdot}179 + 2{\cdot}760} = \frac{8080}{5{\cdot}731} = 1410^{\circ}\ \text{C}.$$

In dieser Art sind die nachfolgenden Verbrennungstemperaturen berechnet worden. Die angeführten Verbrennungswärmen gelten unter der Voraussetzung, daß das ursprünglich vorhandene und das bei der Verbrennung gebildete Wasser in Dampfform verbleibe. Die Verbrennungstemperatur wurde bei festen Körpern sowohl für das zur Verbrennung theoretisch nöthige als auch für das doppelte Luftvolum berechnet. Bei Gasen fielen die letzten Zahlen weg, da ja bei zweckmäßigen Einrichtungen die vollständige Verbrennung der Gase bei sehr geringem Luftüberschusse erzielt werden kann.

Durch Verbrennung erzeugte Wärmemengen und daraus berechnete Temperaturen.

Verbrennung von	Verbrennungswärme Calorien	Verbrennungstemperatur °C.		
		mit reinem Sauerstoff	mit dem nothwendigen Luftvolum	mit dem doppelten Luftvolum
Wasserstoff zu Wasserdampf	von einem Gewichtstheil 28780 Cal.	6670°	2665°	—
Kohlenstoff (amorph):				
zu Kohlensäure	8080 „	10200°	2730°	1430°
„ Kohlenoxyd	2400 „	—	1400°	—

Verbrennung von	Verbrennungswärme Calorien	Verbrennungstemperatur ° C.		
		mit reinem Sauerstoff	mit dem nothwenigen Luftvolum	mit dem doppelten Luftvolum
Holz:	von einem Gewichtstheil			
bei 120° getrocknet	3600 „	—	2500°	1300°
gewöhnliches mit 20% hygroscop. Wasser.	2750 „	—	1900°	1100°
Koke	6860 „	—	2400°	1340°
	von 1 Liter			
Leuchtgas:	6·0	7500°	2530°	—
Methan, CH_4:	von 1 Molekül			
zu Kohlensäure und Wasserdampf	191930 „	7160°	2440°	—
Aethylen, C_2H_4				
zu Kohlensäure und Wasserdampf	313200 „	8620°	2750°	—
Kohlenoxyd, CO:				
zu Kohlensäure	68370 „	7180°	3040°	—
sogenanntes Wassergas, $CO + H_2$:				
zu Kohlensäure und Wasserdampf	125930 „	6940°	2860°	—
Benzolgas, C_6H_6				
zu Kohlensäure und Wasserdampf	773400 „	—	2790°	—

Kommen Brennstoff und Luft nicht mit 0° C. zu Verbrennung, sondern mit einer andern, höheren oder niedrigeren Temperatur, so muß hierauf Rücksicht genommen werden.

Hätten wir z. B. 1 *kg* Wasserstoff von 50° C. und trockene Luft, (sagen wir die theoretisch gerade nöthige Menge derselben) von 20° C. zu verbrennen, so ist die nach der Verbrennung disponible Wärmemenge wie folgt zu berechne

1 *kg* Wasserstoff von 50° C. führt mit sich
$1 \times 3{\cdot}409 \times 50 =$ . . . . 170·45 Cal.
Die zur Verbrennung desselben nöthigen 8 *kg* Sauerstoff von 20° C. bringen mit:
$8 \times 0{\cdot}218 \times 20 =$ . . . . . . 34·88 Cal.
Die in der Verbrennungsluft neben obigen 8 *kg* Sauerstoff enthaltenen 26·64 *kg* Stickstoff von 20° C. führen mit sich:
$26{\cdot}64 \times 0{\cdot}244 \times 20 =$ . . . . . 65·00 Cal.

Summe der vor der Verbrennung mitgebrachten Wärmemenge . . . . 270·33 Cal.
Die Verbrennung des 1 *kg* Wasserstoff lieferte:
1×34180 . . . . 34180·00 Cal.

Nach der Verbrennung disponible Wärmemenge 34450·33 Cal.

Andererseits beträgt die Wärmecapacität der Verbrenbrennungsproducte:

Wasserdampf: $(1 + 8) \times [(606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\,\Theta) + 0{\cdot}481] =$
$9 \times [606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\,\Theta + 0{\cdot}481]$
Stickstoff: $26{\cdot}64 \times 0{\cdot}244 =$ . . . . . 6·500 Cal.

NB. In der obigen Gleichung für Wasserdampf bedeutet bekanntlich $606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\,\Theta$ die gesammte Verdampfungswärme des Wassers bei der Siedetemperatur Θ. Nimmt man letztere zu 100° C. an, so hat man:

Totale Verdampfungswärme des Wassers:
$9 \times (606{\cdot}5 + 30{\cdot}5) = 5733{\cdot}000$ Cal.

Wärmecapacität des Wasserdampfes:
$9 \times 0{\cdot}481 = 4{\cdot}329$ Cal.

Bei der Berechnung der Verbrennungstemperatur aus den vorstehenden Daten müssen wir bedenken, daß unter den angenommenen Verhältnissen der bei der Verbrennung gebildete Wasserdampf bei 100° C. zu flüssigem Wasser condensirt wird, und hiebei sowie bei seiner weiteren Abkühlung auf 0° C. wie oben berechnet, 5733 Cal. verliert. Der gleichen Abkühlung des vorhandenen Stickstoffes von 100° auf 0° entspricht eine Wärmeabgabe von $100 \times 6{\cdot}500 = 650$ Calorien.

Die gesammten nach der Verbrennung des Wasserstoffes vorhandenen Stoffe geben somit bei ihrer Abkühlung (und theilweise bei ihrer Condensation) 5733 + 650 = 6383 Calorien ab. Ziehen wir die Wärmemenge von der gesammten disponiblen Wärme, d. i. von 34450·33 Calorien ab, so bleiben uns:

$$34450{\cdot}33 - 6383{\cdot}00 = 28067{\cdot}33 \text{ Calorien}$$

aus welchen wir mit Zuhilfenahme der Wärmecapacität der (gasförmigen) Verbrennungsproducte

$$(4{\cdot}329 + 6{\cdot}500 = 10{\cdot}829 \text{ Calorien})$$

berechnen können, um wieviel die Verbrennungswärme höher als 100° C. ist. Wir haben nämlich:

$$\frac{28067{\cdot}33}{10{\cdot}829} = 2592^\circ \text{ C.}$$

Somit beträgt die gesammte Verbrennungstemperatur

$$2592 + 100 = 2692^\circ \text{ C.}$$

Wären Wasserstoffgas und Luft mit einer Temperatur von 0° C. zur Verbrennung gelangt, so hätte sich die Verbrennungstemperatur berechnet mit:

$$T = 100 + \frac{34180 - (5733 + 650)}{4{\cdot}329 + 6{\cdot}500} = 100 + \frac{34180 - 6383}{10{\cdot}829} =$$

$$= 100 + \frac{27797}{10{\cdot}829} = 100 + 2567 = 2667^\circ \text{ C.}$$

Die Erwärmung des Wasserstoffgases auf 50° und die der Verbrennungsluft auf 20° hat somit eine Erhöhung der Verbrennungstemperatur um 2692—2667 = 25° C. bewirkt. So klein diese Zahl hier (entsprechend der nahezu unbedeutenden Temperaturerhöhung der Gase vor der Verbrennung) auch ist, läßt sich doch erkennen, daß das Vorwärmen von Verbrennungsgasen, von Verbrennungsluft oder von beiden die Erzielung bedeutend höherer Temperaturen gestattet, als ohnedies zu erreichen wären.

Die so berechneten Temperaturen sind jedoch in der Praxis nicht zu erreichen, da einerseits zur vollständigen Verbrennung stets ein größeres als das theoretische Luft- (oder Sauerstoff-) Quantum nöthig ist, andererseits, und hauptsächlich aber auch weil

durch die Dissociation, d. i. durch die Zersetzung, welche die Verbrennungsproducte bei so hoher Temperatur durch die Hitze erleiden würden, das Erreichen so hoher Temperaturen von selbst ausgeschlossen ist.

Weit richtiger fallen jene Temperaturberechnungen aus, welche sich auf thatsächlich ermittelte Verhältnisse beziehen. So wollen wir als Beispiel die Verbrennungstemperatur des im Capitel V (p. 63) gegebenen Generatorgases berechnen. Dieses Beispiel soll gleichzeitig auch zeigen, wie man die Berechnung mit Zugrundelegung der Volumzusammensetzung der Gase durchführen kann.

Nach dem Capitel V haben wir:

Bestandtheile	Generatorgas m^3	Verbrennungsluft m^3	Verbrennungsgase m^3
Kohlensäure, CO_2	4·05	—	30·35
Sauerstoff, O_2	0·21	39·34	15·34
Kohlenoxyd, CO	26·00	—	0·03
Methan, CH_4	0·35	—	—
Wasserstoff, H_2	12·53	—	—
Stickstoff, N_2	56·86	148·01	204·87
Wasser, H_2O	—	—	13·23
Summe	100·00	187·35	263·82

Die Generatorgase gelangten mit 200° C. die Luft mit 20° zur Verbrennung.

Die Verbrennung der 100 m^3 Generatorgase gibt nach Capitel VI (p. 88) 117700 Calorien.*)

Wir haben nun zunächst zu berechnen, wie viel Wärmeeinheiten Generatorgase und Verbrennungsluft mitbrachten, wozu uns die nachfolgende Tabelle dienen soll.

*) Zur Vereinfachung wurden dort die 0·03 m^3 unverbranntes Kohlenoxydgas vernachlässigt. Aus demselben Grunde wurden hier auch Generatorgas und Verbrennungsluft trocken angenommen.

Wärmecapacität verschiedener Gase bei constantem Drucke, bezogen auf 1 m^3 bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand.

Gas	Wärmecapacität in Calorien für								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Kubikmeter								
Luft atm.	0·3075	0·6150	0·9224	1·2299	1·5374	1·8449	2·1524	2·4598	2·7673
Kohlensäure	0·4266	0·8532	1·2798	1·7064	2·1330	2·5596	2·9862	3·4128	3·8394
Kohlenoxyd	0·3034	0·6067	0·9101	1·2135	1·5169	1·8202	2·1236	2·4270	2·7303
Sauerstoff	0·3121	0·6242	0·9363	1·2484	1·5605	1·8725	2·1846	2·4967	2·8088
Stickstoff	0·3066	0·6132	0·9198	1·2264	1·5331	1·8397	2·1463	2·4529	2·7595
Wasserstoff	0·3051	0·6101	0·9152	1·2202	1·5253	1·8303	2·1354	2·4404	2·7455
Methan	0·4243	0·8486	1·2729	1·6972	2·1212	2·5457	2·9700	3·3943	3·8186
Aethylen	0·4858	0·9716	1·4573	1·9431	2·4289	2·9147	3·4005	3·8862	4·3720
Wasserdampf	0·3823	0·7646	1·1468	1·5291	1·9114	2·2937	2·6760	3·0582	3·4405

N. B. Da ein Kubikmeter Wasserdampf (wenn er sich wie ein vollkommenes Gas verhalten würde) bei 0° C. und 760 *mm* Quecksilberdruck 0·8048 *kg* wiegen würde, so beträgt die von demselben bei seiner Condensation (Siedepunkt 100° C.) und nachherigen Abkühlung auf 0° abgegebenen Wärme $(606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\,t)\,0{\cdot}8048 = 637 + 0{\cdot}8048 = 512{\cdot}66$ Cal.

Wärmecapacität der Generatorgase:

CO_2 : . . . . . 4·05 × 0·4875 = 1·9744
O_2 : . . . . . 0·21 × 0·3121 = 0·0655
CO : . . . . . 26·00 × 0·2102 = 5·4665
CH_4 : . . . . . 0·35 × 0·4243 = 0·1485
H_2 : . . . . . 12·53 × 0·3051 = 3·8228
N_2 : . . . . . 56·86 × 0·3066 = 17·4343

Wärmecapacität der Generatorgase . . . 28·9120 Cal.
" " der Luft: 187·35 × 0·3075 = 57·6080 Cal.

Hieraus berechnet sich die disponible Wärme des Generatorgases und der Luft nach der Verbrennung wie folgt:

durch die Verbrennung producirt	117700·0 Cal.
Von den 200° C. warmen Generatorgasen mitgeführt . . . . . 200 × 28·9120 = . .	5782·4 „
Von der 20° C. warmen Verbrennungsluft mitgeführt . . . . 20 × 57·6080 = . . .	1152·2 „
Nach der Verbrennung disponible Wärme	124634·6 Cal.
13·23 m^3 Wasserdampf geben bei der Condensation bei 100° C. und nachheriger Abkühlung auf 0° an Wärme ab: 13·23 × 512·66 = ...	6782·5 „

Die trockenen Essengase geben bei ihrer Abkühlung von 100° C. auf 0° an Wärme ab:

	m^3	spec. W.	Wärmecapacität
CO_2:	30·35 ×	0·4875 =	14·7966
O_2:	15·34 ×	0·3121 =	4·7876
CO:	0·03 ×	0·2102 =	0·0063
N_2:	204·87 ×	0·3066 =	62·8132
			82·4037 × 100 = 8240·4 „

Wärmemenge, welche von den Essengasen bei ihrer Abkühlung von 100° C. auf 0° (wobei der Wasserdampf derselben condensirt und dann auf 0° C. abgekühlt wird) abgegeben werden	15022·9 Cal.

Zieht man die Wärmemenge von der gesammten nach der Verbrennung disponiblen Wärme ab, so erhält man jene Wärmemenge, welche zur Erwärmung der Essengase über 100° C. dient, nämlich

$$124634{\cdot}6 - 15022{\cdot}9 = 109611{\cdot}7 \text{ Cal.}$$

Die Wärmecapacität der trockenen Essengase fanden wir oben mit	82·4037 Cal.
jene ihres Wassergehaltes beträgt: 13·23 × 0·3823 = ...	5·0577 „
Wärmecapacität der Essengase inclusive ihres Wassergehaltes	87·4614 „

Und hieraus berechnet sich endlich die Verbrennungstemperatur mit

$$\frac{109611{\cdot}7}{87{\cdot}4614} + 100 = 1253 + 100 = 1353^\circ \text{ C.}$$

Auch die so ermittelte Temperatur ist eigentlich noch zu hoch, denn man muß bedenken, daß die Verbrennung auf einer ziemlich langen Wegstrecke erfolgt, und daß hierbei ganz erhebliche Wärmemengen zur Abgabe gelangen, daß also die thatsächliche, den durch die Analysen von Generatorgas, Luft und Essengas fixirten Vorgängen entsprechende Flammentemperatur gewiß merklich unter der gefundenen liegen muß.

Hier müssen wir wieder auf die im Capitel V (p. 72) angeführten Versuche von Bunsen (die sich jedoch auf die Verbrennung bei constantem Volum beziehen zurückkommen, aus welchen derselbe die folgenden Schlüsse zieht:

1. daß im richtigen Verhältnisse gemischtes Knallgas von Kohlenoxyd und Sauerstoff im Mittel aus Versuch (1) und (2) bei der Verbrennung in einem geschlossenen Gefäß sich von 0° C. auf 3033° C. erhitzt, wobei die Abweichung im Mittel bei den einzelnen Versuchen 4·58 Procente der ganzen Temperaturerhöhung beträgt;

2. daß im richtigen Verhältniße zusammengesetztes Knallgas von Wasserstoff und Sauerstoff im Mittel aus Versuch (12) und (13) bei der Verbrennung in einem verschlossenen Gefäße von 0° C. auf 2844° C. erhitzt wird, mit Abweichungen in den einzelnen Versuchen von 0·388 Procent der ganzen Temperaturerhöhung;

3. daß im richtigen Verhältnisse zusammengesetztes Knallgas von Kohlenoxyd und atmosphärischer Luft im Mittel aus Versuch (10) und (11) bei der Verbrennung in einem verschlossenen Gefäße sich erhitzt von 0° C. auf 1997° C. mit Abweichungen in den einzelnen Versuchen von 4·41 Procent der ganzen Temperaturerhöhung;

4. daß im richtigen Verhältnisse zusammengesetztes Knallgas von Wasserstoff und atmosphärischer Luft nach Versuch (14) bei der Verbrennung in einem verschlossenen Gefäß eine Erhitzung erleidet von 0° C. auf 2024° C.;

5. daß sowohl bei dem reinen Kohlenoxydknallgase als auch bei dem Wasserstoffknallgase während des Temperaturmaximums im Mittel aus (1,) (2), (3), (12) und (13) von dem ganzen vorhandenen Wasserstoff oder Kohlenoxyd nur der dritte Theil verbrennt, während die übrigen zwei Drittel durch

Erhitzen auf jene hohen Temperaturen von 2558° bis 3033° die Fähigkeit sich zu verbinden verloren haben.

6. daß ferner bei denselben beiden Knallgasen, wenn 1 Volum derselben successive mit 0·686 bis 3·163 Vol. nicht mit verbrennendem Gase verdünnt wird, und die Flammentemperatur in Folge dessen successive von 2471° C. auf 1146° C. herabsinkt, bei allen Temperaturen innerhalb dieses Intervalles die Hälfte des Kohlenoxydes oder Wasserstoffes, nämlich im Mittel aus allen Versuchen $\frac{1}{1·992}$ verbrennt, während in der andern Hälfte Sauerstoff und Kohlenoxydgas oder Sauerstoff und Wasserstoff die Fähigkeit sich miteinander zu verbinden eingebüßt haben.

Die Verbrennungsproducte des reinen Kohlenoxyd-Knallgases würden demnach bei 3033° C. bestehen aus:

Sauerstoff	1	Volum
Kohlenoxyd	2	„
Kohlensäure	1	„

ebenso die des reinen Wasserstoffknallgases bei 2844° C.:

Sauerstoff	1	Vol.
Wasserstoff	2	„
Wasserdampf	1	„

Innerhalb der Temperaturen von 2471° C. bis 1146° C. würden sich aus dem Kohlenoxydknallgase folgende Verbrennungsproducte bilden:

Sauerstoff	1	Vol.
Kohlenoxyd	2	„
Kohlensäure	2	„

und aus dem Wasserstoffknallgase bei 2024° C.:

Sauerstoff	1	Vol.
Wasserstoff	2	„
Wasserdampf	2	„

Die vorstehenden Versuche sind von großem Interesse, obwohl man inzwischen erfahren hat, daß der Procentsatz der verbrannten Stoffe sich durchaus nicht sprungweise, wie es nach dem Obigen den Anschein hat, sondern sehr allmälig ändert. Um dies klarer zu machen, wollen wir noch weiter auf den Vorgang der Dissociation der Gase näher eingehen.

Erhitzt man eine gasförmige chemische Verbindung immer weiter, so wird endlich eine Temperatur erreicht, bei welcher sich einzelne seiner Moleküle zu spalten beginnen. Steigt die Temperatur noch höher, so spalten sich immer mehr und mehr Moleküle, und bei einer bestimmten Temperatur, der „Zersetzungstemperatur" ist gerade die Hälfte der Moleküle zerfallen. Bei einer noch viel höheren Temperatur endlich ist die Zersetzung des Körpers eine vollständige geworden. Der Verlauf der Zersetzung ist ein solcher, daß für gleiche Temperaturerhöhungen die Zersetzungszuwachse von der Temperatur des Beginnes der Dissociation an, bis zur Zersetzungstemperatur, d. i. bis zur halbvollendeten Zersetzung, fortwährend zu nehmen, und von der Zersetzungstemperatur an bis zur Temperatur der Vollendung der Dissociation fortwährend abnehmen.

Am Besten wird diesen Verlauf der theoretischen Zersetzung die nachfolgende von Wurtz herrührende Tabelle über die Dissociation von Brom-Amylen, $C_5 H_{11} Br$, erkennen lasse:

Temperatur (corrigirt)	Dampfdichte	Procente der Zersetzung	Mittlerer Zuwachs an Procenten der Zersetzung für 10° Temperaturerhöhung	Temperatur (corrigirt)	Dampfdichte	Procente der Zersetzung	Mittlerer Zuwachs an Procenten der Zersetzung für 10° Temperaturerhöhung
152°	5·37	—	—	215°	4·12	26·7	
155·8	5·18	—	—	225	4·69 / 3·68 } 4·18	—	4·5
160·5	5·32	—	—				
165	5·14	1·6	—	236·5	3·83	36·3	19
171·2	5·16	—	—	248	3·30	58·2	7·4
173·1	5·18	—	—	262·5	3·09	68·9	
183·3	5·15	1·4	—	272	3·11	—	1·2
185·5	5·12	2	7·7	295	3·19	—	
193·2	4·84	7·9	9·2	305·3	3·19	—	
195·5	4·66	12		314	2·98	75·1	11·7
205·2	4·39	18·9	8	319·2	2·88	81·2	4·6
				360	2·61	100	—

Die Zersetzungstemperatur (die Temperatur der halbvollendeten Zersetzung) liegt ungefähr bei 244°; der Temperaturumfang der Dissociation beträgt ungefähr 160° bis 170°.

Die Größe der Dissociation ist übrigens nicht allein von der Temperatur, sondern auch vom Drucke abhängig, und zwar tritt bei gleicher Temperatur mit abnehmendem Drucke eine Zunahme der Zersetzung ein. Um diese Beziehungen näher ersichtlich zu machen, mögen im folgenden die Versuche von H. Deville u. Troost über die Dissociation von Untersalpetersäure u. zw. zusammengestellt nach gleicher Temperatur, nach gleichem Drucke und nach gleichem Zersetzungsgrade, mitgetheilt werden:

A. Gleiche Temperaturen.

Temperatur	Druck	Dichte	Zersetzungsgrad
18°	279 *mm*	2·71	17·3 %
18·5	136 „	2·45	29·8 „
20	301 *mm*	2·70	17·8 %
20·8	153·5 „	2·46	29·3 „

B. Gleiche Drucke.

Temperatur	Druck *mm*	Dichte	Zersetzungsgrad %	Unterschied der Temperaturen	Unterschied des Zersetzungsgrades	Quotient
— 1°	153	2·87	10·8	21·8	18·5	0·9
+ 20·8	153·5	2·46	29·3			
10·5	163	2·73	16·5	11	17·2	1·6
21·5	161	2·38	33·7			
14·5	175	2·63	20·9	2·3	3·8	1·7
16·8	172	2·55	24·7	0·7	1·5	2·1
17·5	172	2·52	26·2			
1	138	2·84	11·9	17·5	17·9	1·0
18·5	136	2·45	29·8	4	5·5	1·4
22·5	136·5	2·35	35·3			



C. Gleiche Zersetzungsgrade.

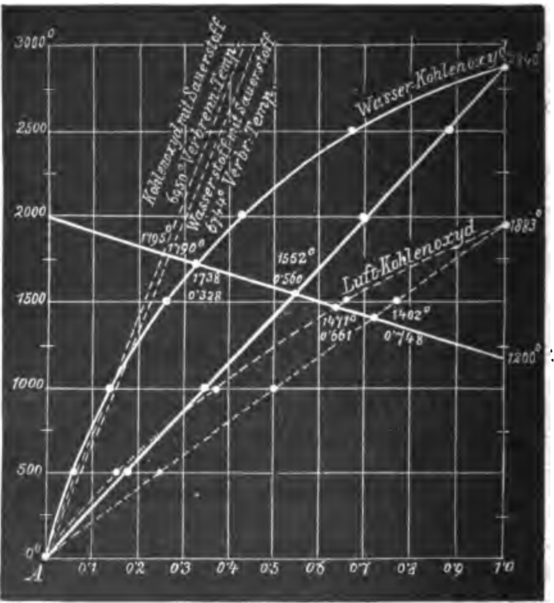
Temperatur		Druck mm	Zersetzungsgrad %	Unterschied der Temperaturen	Unterschied des Druckes	Quotient
Deville & Troost	26·7°	755·5	19·96	10·7	527	49
	16	228·5	20·0			
Deville & Troost	35·4	755·5	25·65	18·6	583·5	31·3
	16·8	172	26·2			
Deville & Troost	39·8	755·5	29·23	19	602	31·7
	20·8	153·5	29·3			
Deville & Troost	39·8	755·5	29·23	21·3	619	29
	18·5	136	29·8			
Deville & Troost	49·6	755·5	40·0	27·1	654·5	24·6
	22·5	101	39·0			

Kohlensäure beginnt sich bei 1200°, Wasser bei 1000° zu zersetzen; erstere kann bei mehr als 2000°, letztere wahrscheinlich nahe bei derselben Temperatur nicht mehr bestehen. Leider sind gerade von diesen für die Praxis wichtigsten Stoffen keine nähere Daten über ihre Dissociation vorhanden, so daß man sich hier noch immer mit angenommenen Näherungswerthen behelfen muß.

Zur Ermittelung der wirklichen Verbrennungstemperatur für Brennstoffe, bei welchen die Dissociation zu berücksichtigen ist, dienen am besten Diagramme, wie die beigesetzten, Fig. 3 bis 6. Dieselben wurden von J. v. Ehrenwerth aufgestellt unter der Voraussetzung, daß die Dissociation von Wasser wie von Kohlensäure bei 1200° beginne, der Temperatursteigerung proportional verlaufe und bei 2000° C. vollendet sei. Zwei dieser Diagramme beziehen sich auf Luftkohlenoxyd und Wasserkohlenoxyd, die beiden anderen auf Steinkohlengeneratorgas und Bull's Wassergas und zwar in der Art, daß immer je ein Diagramm von der Annahme ausgeht, daß Luft und Gas vor der Verbrennung eine Temperatur von 0° besäßen, während

bei den andern vorausgesetzt wird, daß beide auf die Hälfte der Flammentemperatur vorgewärmt worden seien. Die Linien, welche 1200° C. mit 2000° C. verbinden, sind die Dissociations-Curven. Von den Verbrennungstemperaturcurven entsprechen jene, welche fast geradlinig verlaufen, den Temperaturen bei anfänglicher Zuführung der für vollkommene Verbrennung des


Fig. 3.

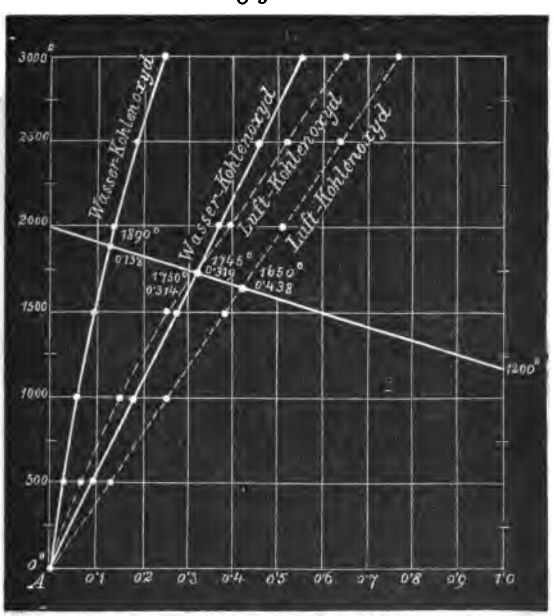


Wasser-Kohlenoxyd und Luft-Kohlenoxyd. Gase und Luft mit 0° C. Temperatur.

Gases ausreichenden Menge Verbrennungsluft, die stärker gekrümmten dagegen jenen Temperaturen, welche erreicht werden, wenn den Gasen eben nur die für die Erreichung einer gewissen Temperatur theoretisch nothwendige Luftmenge zugeführt wird. Die an den Schnittlinien dieser Curven mit der Dissociations-Curve stehenden Zahlen bedeuten, und zwar die obere die höchste erreichbare Verbrennungstemperatur, die untere die Menge des verbrannten Gases.

Auch die so erhaltenen Verbrennungstemperaturen sind im Allgemeinen in Folge von Wärmeverlusten zu hoch, allein bei entsprechender Einrichtung ist es möglich, in der Praxis diesen berechneten Temperaturen ziemlich nahe zu kommen, besonders bei Anwendnng von Gas und Luft im vorgewärmten Zustande. Es dürfte nicht ohne Interesse sein, hier einige Tempe-

Fig. 4.



Wasser-Kohlenoxyd und Luft-Kohlenoxyd.
Gase und Luft auf 0·5 der Flammentemperatur vorgewärmt.

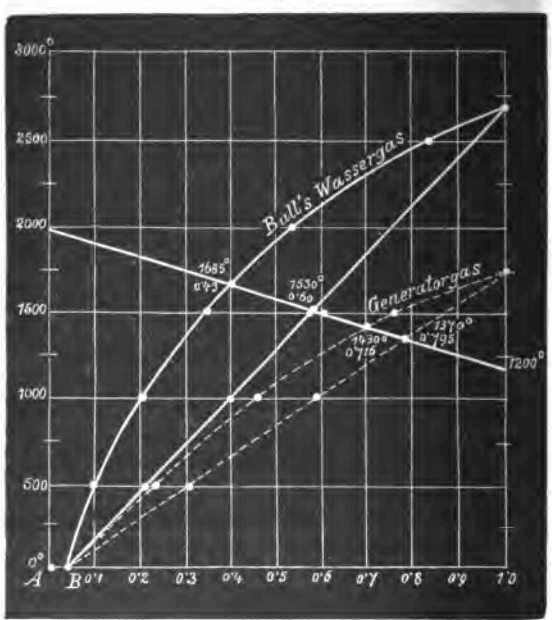
raturen mitzutheilen, welche durch directe Messungen ermittelt wurden.

F. Rosetti maß die nachfolgenden Temperaturen mittelst eines Eisen-Platin-Elementes:

In einem kräftigen Bunsenbrenner wurden auf 1 Volum Leuchtgas etwa 2·2 Volumen Verbrennungsluft benöthigt und eine Flamme von etwa 17 *cm* Länge erzielt. Die Temperaturen in den verschiedenen Theilen der Flammen waren folgende:

		Temperaturmaximum
Im farblosen Flammenmantel	. . . . . .	1360°
in der violetten Zone	. . . .	1250°
„ „ inneren blauen Flamme unter	. . .	1200°
im 7 *cm* langen dunklen Flammenkegel, u. zw.		
1 *cm* oberhalb der Brenneröffnung etwa	. .	250°
2 bis 5 *cm* oberhalb „ „ „ etwas über	.	400°
6 *cm*. „ „ „ „	. . . . .	650°

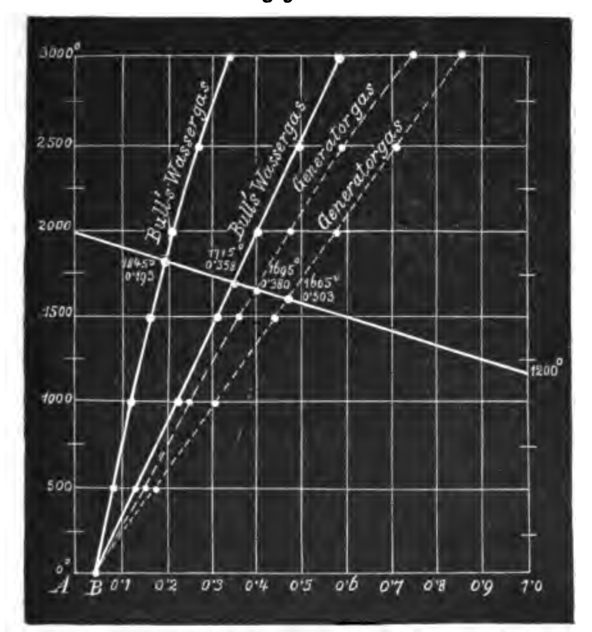
Fig. 5.



Bull's Wassergas und Steinkohlen-Generatorgas. Gase und Luft mit 0° Temperatur.

Bei stärkerem Gasdrucke werden die Gasflammen allerdings viel größer, allein die entsprechenden Flammenzonen zeigen doch nahe dieselbe Temperatur, und bei bedeutend verschiedenem Drucke ist die Temperaturdifferenz kaum größer als 20°.

Fig. 6.



Bull's Wassergas und Steinkohlen-Generatorgas.
Gase und Luft auf 0·5 der Flammentemperatur vorgewärmt.

Die folgenden, in einem unten geschlossenen Bunsenbrenner verbrannten Mischungen von Gas und Luft oder Stickstoff oder Kohlensäure ergaben die beigesetzten Temperaturen für den heißesten Theil der Flamme:

1 Volum	Gas	und	2	Volumen Luft	. . 1260°
1 „	„	„	$2^1/_2$	„ „	. . 1150°
1 „	„	„	3	„ „	. . 1116°
1 „	„	„	1	Stickstoff	. . . 1280°
1 „	„	„	$1^1/_2$	„	. . . 1240°
1 „	„	„	2	„	. . . 1150°
1 „	„	„	$2^1/_2$	„	. . . 1080°
1 „	„	„	3	„	. . . 1040°
1 „	„	„	4	„	. . . 960°

1 Volum	Gas	und	½	Kohlensäure	. .	1190°
1 "	"	"	⅔	" "	. .	1170°
1 "	"	"	1	" "	. .	1100°
1 "	"	"	2½	" "	. .	1020°
1 "	"	"	2	" "	. .	880°
1 "	"	"	3	" "	. .	780°

Der Stickstoff kühlt natürlicher Weise die Flamme weniger ab als Kohlensäure, da seine auf gleiche Volumen bezogene Wärmecapacität nur 0·71 derjenigen der letzteren ist. Eine Mischung von 1 Volum Gas und 4 Volumen Luft brennt in einem Bunsenbrenner nicht mehr, wohl aber in einem Leuchtbrenner. Die fächerförmige Flamme desselben ergab ein Maximum von 958°. Ein Gemenge von 1 Volum Gas und 4 Volumen Kohlensäure brennt nur mehr in Berührung mit einer Flamme.

Weitere Messungen ergaben:

in einer Stearinflamme	940°
" " Locatelli-Lampe	920°
" " Petroleumlampe:	
ohne Cylinder: im leuchtenden Theile . . .	920°
" russenden " . . .	780°
mit " "	1030°
" " Alkohollampe:	
mit Alkohol von 0·912 spec. Gewicht . . .	1170°
" " " 0·822 " " . . .	1180°

Für verschiedene Lichtquellen fand A. Crova auf spectralanalytischem Wege die folgenden Temperaturen (wobei als willkürlicher Maßstab die Strahlen von 676 und 523 Milliontel Millimeter fixirt wurden):

in einer Gaslampe zu Rothgluth erhitztes Platinblech	524°
mittelst eines Gaslöthrohres zur hellen Weißgluth erhitztes Platinblech	810°
Moderateurlampe mit Rapsöl	1000°
Stearinkerze	1162°
Leuchtgas bei Argandbrennern	1373°
Licht von Sauerstoff und Leuchtgas auf Kalk . .	1806°
elektrisches Licht von 60 Bunsenelementen	3060°
Sonnenlicht	4049°

Im Anhange an das über die Dissociation Gesagte möge hier als für manche in Betracht kommende Fälle (z. B. Brennen von Kalk in Kalköfen) nothwendig, noch einiges über die Dissociation von festen Körpern mitgetheilt werden, wobei gasförmige Zersetzungsproducte entstehen. Diese letzteren zeigen eine gewisse mit steigender Temperatur, also fortschreitender Zersetzung wachsende Spannung, die man als Dissociationsspannung bezeichnet. Dieselbe scheint bei gleicher Temperatur und unter sonst gleichen Umständen um so geringer zu sein, je größer die Verbindungswärme ist.

Für das Baryumcarbonat beträgt bei der Hitze eines mit Holzkohle gespeisten Glühofens der Minimalwerth der Kohlensäurespannung 22 *mm* Quecksilberhöhe.

Für den Kalkspath waren von H. Debray folgende Zersetzungsspannungen angegeben worden:

Bei 480° unmerklich,
Bei 860° 85 *mm*
Bei 1040° 510 bis 520 *mm*.

Doch ergaben die Untersuchungen von A. F. Weinhold, daß das Calciumcarbonat bei gleicher Temperatur Druckverschiedenheiten, sowie plötzliche Verzögerungen im Anwachsen des Druckes oder abwechselndes Ab- und Zunehmen desselben ohne merkliche Temperaturschwankungen zeigt.

Die Geschwindigkeit der Entzündung und Verbrennung ist eine sehr verschiedene; sie wurde z. B. (von Bunsen) in reinem Wasserstoffknallgas viel größer gefunden als im Kohlenoxydknallgas, obwohl die Flammentemperatur bei ersterem viel kleiner ist, als bei letzterem. Ueberhaupt hat man ermittelt, daß innerhalb gewisser Grenzen die Verbrennung um so vollkommener erfolgt, je dünner das Medium ist.

Der Entflammungspunkt (die Entzündungstemperatur) ist ebenfalls eine sehr verschiedene. Sehr große Dichte (Anthracit, Grafit, Diamant) ebenso wie sehr feine Vertheilung (Gase) erschweren die Entzündungsfähigkeit: Wasserstoff und Kohlenoxyd entzünden sich nicht unter der Rothgluth; poröse Brennmaterialien entzünden sich in der Weiß-, ja selbst unter der dunklen Rothglühhitze.

Die gewöhnlichen Brennmaterialien sind um so entzündlicher, je reicher an Wasserstoff dieselben sind. Sie lassen sich hiernach in nachstehender Reihenfolge anordnen.

Harzreiches (weiches) Holz, lockerer Torf, harzfreies (hartes) Holz, Holzkohle, Lignit, bituminöse Braunkohle, bituminöse Steinkohle (Backkohle), Brandschiefer, gemeine Braunkohle, dichter Torf, Sand- und Sinterkohle, Anthracit, Steinkohlenkoke.

Die Entzündungstemperatur der Gase ist abhängig:

1. Von der Form der Gefäße, in denen die Verbrennung vor sich geht;

2. von dem Materiale der Wandungen derselben;

3. von der Menge des beigemischten Sauerstoffes;

4. von der Art und Menge der etwa beigemischten Gasarten;

5. vom Drucke.

Folgende Entzündungstemperaturen wurden ermittelt:

Wasserstoff — Kirschrothgluth...	800—1000° C.	Frankland
Gemenge von Sauerstoff und Schwefelkohlenstoffdampf.....	228°	Böttger
Trockener Torf	225°	Merbach
Fichtenkohle..................	280°	"
Fichtenholz	395°	"
Steinkohle etwa	326°	"
Koke.........................	Rothgluth	"
Anthracit.....................	"	"
Kohlenoxydgas	"	"
Holzkohle, erzeugt bei 300—400°	360°	Violette
Holzkohle, erzeugt bei 1200°—1300°	600°—800°	"
Wasserstoff-Sauerstoffgemenge...	743·6°	Bunsen

VIII. Capitel.

Wärmeübertragung durch Leitung und Strahlung.

Von einem Körper auf einen zweiten erfolgt die Wärmeübertragung auf zweierlei Art:

a) wenn sich die beiden Körper unmittelbar berühren, durch Wärmeleitung und

b) wenn sie sich nicht unmittelbar berühren und die Wärmeübertragung auch nicht am langsam fortschreitenden Wege der Wärmeleitung von dem wärmeabgebenden Körper auf die dazwischen liegenden, und von diesen endlich auf den zu erwärmenden, sodann rasch und ohne successive Erwärmung der dazwischen liegenden Körper erfolgt, durch Wärmestrahlung.

Je nachdem nun die Wärmeleitung innerhalb eines und desselben Körpers stattfindet, oder von einem Körper an einen unmittelbar daran stoßenden erfolgt, unterscheidet man eine innere und eine äußere Wärmeleitung.

Die innere Wärmeleitung hängt ab vom Querschnitte, von der Temperatur und von der Natur des Körpers. Um nun die Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper mit einander vergleichen zu können, denkt man sich alle zu Stäben von gleichem Querschnitte geformt. Ertheilt man nun allen diesen Stäben auf eine gleiche Längendifferenz einen gleich großen Temperaturunterschied, so läßt sich die Wärmemenge bestimmen, welche per Minute durch den Querschnitt geht und diese Größe als Maß des inneren Wärmeleitungsvermögens verwenden.

Man bezeichnet nun als inneren Wärmeleitungscoefficienten jene Wärmemenge in Grammcalorien ($\frac{1}{1000}$ Calorien) ausgedrückt, welche durch einen Würfel des betreffenden Körpers von 1 *cm* Seitenlänge per Minute hindurchgeht, wenn zwei gegenüberstehende Flächen derselben eine Temperaturdifferenz von 1° C. besitzen, die übrigen Würfelflächen aber für Wärme undurchdringlich sind.

Die nachfolgende Tabelle gibt für eine ebene Platte von 1 *mm* Dicke, deren beide Seiten um 1° C. verschiedene Temperatur besitzen, jene Wärmemenge an, welche durch jeden Quadratmillimeter in der Secunde hindurchgeht. Diese Wärmemenge ist ausgedrückt durch die Anzahl K Milligramm Wasser, welche hiedurch von 0° auf 1° erwärmt werden können.

Substanz	Temperatur	K	Beobachter	Substanz	Temperatur	K	Beobachter
	°						
Aluminium	0	34·35	Lorenz	Zink	—	30·71	Neumann
"	100	36·19	"	"	0	30·56	H. F. Weber
Antimon	0	4·42	"	"	15	25·45	Kirchhoff & Hansen
"	100	3·96	"	Zinn	0	14·46	H. F. Weber
Blei	7	7·19	H. F. Weber	"	15	14·46	Kirchhoff & Hansen
"	15	7·93	Kirchhoff & Hansen	"	0	15·28	Lorenz
"	0	8·36	Lorenz	"	100	14·23	"
"	100	7·34	"	Messing	—	30·20	Neumann
Eisen	0	19·88	Angström	" (käuf-			
"	100	14·17	"	lich)	0	15·00	H. F. Weber
"	—	16·38	Neumann	" (gelb)	0	20·41	Lorenz
"	0	16·65	Lorenz	" "	100	25·40	"
"	100	16·27	"	" (roth)	0	24·60	"
Schmiede-				" "	100	28·27	"
eisen	0	20·70	Forbes	Neusilber	—	10·94	Neumann
"	50	17·72	"	"	31	8·108	H. F. Weber
"	100	15·67	"	"	0	7·00	Lorenz
"	150	14·47	"	"	100	8·87	"
"	200	13·57	"	Wood'sLe-			
"	275	12·40	"	girung	7	3·19	H. F. Weber
"	39	14·85	H. F. Weber	Eis	—	0·568	Neumann
Puddel-				"	—	0·23	de la Rive
stahl	15	14·18	Kirchhoff & Hansen	" (parall.			
Bessemer-				z. Achse)	—	0·223	Forbes
stahl	15	9·64	" "	" (senkr.			
Puddelst.	15	13·75	" "	z. Achse)	—	0·213	Forbes
Kupf. (ei-				Glas	—	0·13	de la Rive
senhalt.)	0	98·23	Angström	"	—	0·050	Forbes
" "	100	83·31	"	" weiß. fr.			
" "	—	110·80	Neumann	Spiegel.	60	0·04523	Beetz
" (käuflich)	0	81·90	H. F. Weber	" Flasch.,			
" (phos-				grün. Gl.	60	0·04456	"
phorh.)	15	41·52	Kirchhoff & Hansen	" schweres			
" "	0	71·98	Lorenz	Bleiglas			
" "	100	72·26	"	v. Merz	60	0·04313	"
Quecksilb.	50	1·77	Angström	Steinkohl.	—	0·0297	Neumann
"	0	1·479	H. F. Weber	Kohle	—	0·0405	Forbes
"	50	1·893	"	Marmor			
Silber	0	109·60	"	schwarz	—	0·177	"
Wismuth	7	1·08	"	" weiß	—	0·115	"
"	0	1·77	Lorenz	Schiefer	—	0·081	"
"	100	1·64	"	Cement	—	0·01625	"

Substanz	Temperatur	K	Beobachter	Substanz	Temperatur	K	Beobachter
Quarzsand feiner	—	0·0131	Forbes	atm. Luft	0	0·00492	Kundt & Warburg
Kork, läng.	—	0·0717	"	" "	0	0·00513	Winkelmann
Kiefernh. "	—	0·030	"	" "	100	0·00653	"
" im Radius	—	0·0088	"	" "	0	0·004838	Grätz
Sägespäh v. Kiefh. compr.	—	0·0123	"	" "	100	0·005734	"
Paraffin	—	0·0141	"	Wasserst.	7-8	0·03324	Winkelmann
vulkanisir. Kautschuk	—	0·0089	"	"	0	0·03190	Grätz
Hartgum.	—	0·0260	Stefan	"	100	0·03693	"
Horn	—	0·00870	Forbes	Sauerstoff	7-8	0·00563	Winkelmann
Bienenw.	—	0·00870	"	Stickstoff	7-8	0·00524	"
Filz	—	0·00870	"	Stickoxydul	0	0·00350	"
Baumw., zertheilt	—	0·00433	"	"	100	0·00506	"
" gepreßt	—	0·00335	"	Stickoxyd	7-8	0·00460	"
Wasser	40·8	0·1555	Lundquist	Kohlenox.	0	0·00499	"
"	10-18	0·154	Winkelmann	"	7-8	0·00510	"
"	0	0·1203	H. F. Weber	Kohlensäu.	0	0·00305	"
"	23·7	0·1428	"	"	100	0·00466	"
atm. Luft	—	0·00558	Stefan	Ammoniak	0	0·00458	"
				"	100	0·00709	"
				Methan	7-8	0·00647	"
				Aethylen	0	0·00395	"
				"	100	0·00636	"

Aus obigen Zahlen kann man die durch einen gewissen Querschnitt durchgehende Wärmemenge W in allen Fällen berechnen mittelst der Gleichung:

$$W = K \,.\, z \,.\, q \,.\, \frac{t_2 - t_1}{d}$$

worin der fragliche Querschnitt = q *mm*²
der Abstand der Endflächen (die Dicke der Platten) = d *mm*
die Temperatur an beiden Enden t_1 und t_2
die Zeitdauer = z Sekunden
und der Wärmeleitungscoëfficient = K ist.

Die Oberflächenleitung ist ebenfalls von der Größe der leitenden Oberfläche und von einem durch die Natur der Körper gegebenen Coëfficienten abhängig.

Im Folgenden halten wir uns bezüglich der Berechnung der verschiedenen Arten der Wärmeübertragung an die knappe



und präcise Zusammenstellung in „Ingenieurs Taschenbuch" (I, p. 236.)

Die Wärmeabgabe eines Körpers an seiner Oberfläche setzt sich zusammen aus der Abgabe durch Strahlung und der Abgabe durch Leitung (Berührung mit dem umgebenden Medium).

Nennt man:

v die pro Stunde und m^2 durch Strahlung abgegebene Wärme,
v_1 „ „ „ „ „ „ Leitung „ „
φ die Temperatur des umgebenden Mediums,
t den Temperaturüberschuß der Wärme abgebenden Fläche über die Temperatur des Mediums,
k einen Coëfficienten, abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche des Körpers,
k_1 einen Coëfficienten, abhängig von der Form und Ausdehnung der Oberfläche,
a eine Constante $= 1{\cdot}0077$
b „ „ $= 1{\cdot}233$

so ist:

$$v = 124{\cdot}72\ ka^{\varphi}\ (a^t - 1);$$
$$v_1 = 0{\cdot}552\ k_1 t^b$$

und daher die gesammte Wärmeabgabe V

$$V = v + v_1 = 124{\cdot}72\ ka^{\varphi}\ (a^t - 1) + 0{\cdot}552\ k_1 t^b.$$

Nach Péclet hat k folgende Werthe

Polirtes Silber	k = 0·13	Sägespähne	k = 3·53
versilbertes Papier	„ = 0·42	Kohlenpulver	„ = 3·42
polirtes Messing	„ = 0·258	feiner Sand	„ = 3·62
vergoldetes Papier	„ = 0·23	Ölanstrich	„ = 3·71
Kupfer	„ = 0·16	Papier	„ = 3·77
Zink	„ = 0·24	Kienruß	„ = 4·01
Zinn	„ = 0·215	Bausteine	„ = 3·60
pol. Schwarzblech	„ = 0·45	Gips	„ = 3·60
verbleites Blech	„ = 0·65	Holz	„ = 3·60
gewöhnliches Blech	„ = 2·77	Wollenstoff	„ = 3·68
verrostetes Blech	„ = 3·36	Kattun	„ = 3·65
neues Roheisen	„ = 3·17	Seidenstoff	„ = 3·71
verrost. Roheisen	„ = 3·36	Wasser	„ = 5·31
Glas	„ = 2·91	Öl	„ = 7·24
gepulverte Kreide	„ = 3·32		

k_1 ist für kugelförmige Körper vom Halbmesser r

$$k_1 = 1{\cdot}778 + \frac{0{\cdot}13}{r};$$

für horizontale Kreiscylinder vom Halbmesser r

$$k_1 = 2{\cdot}058 + \frac{0{\cdot}0382}{r};$$

für verticale Kreiscylinder vom Halbmesser r und der Höhe h

$$k_1 = \left\{0{\cdot}726 + \frac{0{\cdot}0345}{\sqrt{r}}\right\}\left\{2{\cdot}43 + \frac{0{\cdot}8758}{\sqrt{h}}\right\}$$

Nachstehende Tabelle gibt die Werthe von v und v_1 für verschiedene Temperaturüberschüsse t.

Bei der Berechnung von v ist $\varphi = 15^0$ angenommen. Ist nun:

$\varphi = 0^0, 10^0, 20^0, 30^0, 40^0, 50^0, 60^0, 70^0, 80^0, 90^0, 100^0$, so müssen die Zahlen der Tabelle für v multiplicirt werden mit:

0·89, 0·96, 1·04, 1·12, 1·21, 1·31, 1·41, 1·52, 1·65, 1·78, 1·92

Temperaturüberschüsse t	Wärmeabgabe durch Strahlung v	Wärmeabgabe durch Leitung v_1	Temperaturüberschüsse t	Wärmeabgabe durch Strahlung v	Wärmeabgabe durch Leitung v_1
10°	11·2 k	9·4 k_1	140°	269·5 k	244·3 k_1
20	23·2 k	22·2 k_1	150	302·1 k	266·1 k_1
30	36·1 k	36·6 k_1	160	339·0 k	288·1 k_1
40	50·1 k	52·2 k_1	170	377·4 k	310·5 k_1
50	65·3 k	68·6 k_1	180	418·5 k	333·2 k_1
60	81·7 k	86·0 k_1	190	463·2 k	336·1 k_1
70	99·3 k	104·0 k_1	200	511·2 k	379·4 k_1
80	118·5 k	122·6 k_1	210	563·1 k	402·9 k_1
90	138·7 k	141·7 k_1	220	619·0 k	426·7 k_1
100	161·3 k	161·5 k_1	230	679·5 k	450·7 k_1
110	185·3 k	181·5 k_1	240	744·8 k	475·0 k_1
120	211·3 k	202·1 k_1	250	848·7 k	498·6 k_1
130	239·3 k	223·1 k_1			

Für den Wärmedurchgang durch einen Körper ist derjenige Fall ausschließlich wichtig, wo zwei parallele, beziehungsweise äquidistante Oberflächen eines Körpers mit Medien von verschiedenen Temperaturen in Berührung sind, wo also der Wärmeüberschuß des einen Mediums dem anderen durch den Körper hindurch zugeführt wird.

Nennt man:
e die Dicke des Wärme durchlassenden Körpers in Metern,
t „ Temperatur des Wärme abgebenden Mediums,
t' „ „ der Wärme abgebenden Oberfläche,
t'' „ „ des „ empfangenden Mediums,
C einem Coëfficienten, abhängig von der Fähigkeit des Körpers die Wärme zu leiten,
so ist die Wärmeabgabe pro Stunde und für 1 m^2 Wärme abgebende Oberfläche

$$M = \frac{C\ (t - t')}{e}$$

worin

$$C = \frac{e\ (k + k_1)\ \ (t' - t'')}{t - t'} \text{ ist.}$$

Ist ein cylindrisches Rohr mit einer Umhüllung bekleidet, so beträgt die Wärmeabgabe per Stunde und Quadratmeter

$$M = \frac{(k + k_1)\ t . \frac{R}{r} . 1 + (k + k_1)\ m \log \frac{R}{r} R}{C} \text{ Calorien}$$

worin bedeutet:
R den Radius des umhüllten Rohres in Metern,
r „ „ „ nackten „ „ „
t „ Überschuß der Temperatur des Wärme abgebenden Mediums über die des Wärme empfangenden Mediums,
$m = 2 \cdot 3026$ = Modul der natürlichen Logarithmen.

Tabelle über die Werthe von C bei verschiedenen Körpern pro 1 Stunde und 1 m^2 Oberfläche. $e = 1$ Meter, $t - t' = 1^\circ$.

Körper	C	Körper	C
Platin	75	Fichtenholz über Hirn	0·093
Silber	74	Fichtenholz, parallel mit den Fasern	0·170
Kupfer	69	Eichenholz, über Hirn	0·211
Eisen	28	Kork	0·143
Zink	28	Kautschuk	0·170
Zinn	22	Guttapercha	0·178
Blei	14	Glas 0·75 bis	0·88
Graphit aus Gasretorten	4·96	Quarzsand	0·27
feinkörniger grauer Marmor	3·48	von Einsiedel'sche Isolirmasse	0·139
weißer grobkörniger „	2·78	Kieselguhrcomposition	0·136
feinkörniger Kalkstein 1·70 bis	2·08	Knock'sche Trockenmasse	0·120
gebrannter Thon 0·51 „	0·63		

Mehnert'sche Masse	0·119	Holzkohlenpulver	0·079
Schlackenwolle	0·101	Kokepulver	0·160
Kieselguhrschnur	0·092	Eisenfeilspäne	0·158
Leroy'sche Masse	0·091	Baumwolle	0·040
Korkmasse	0·080	Leinwand	0·043 bis 0·052
Seidenzöpfe	0·050	weißes Schreibpapier	0·043
Holzasche	0·060	graues Druckpapier	0·034
Sägemehl	0·065		

Für einen aus mehreren Schichten von den Dicken $e, e_1, e_2 \ldots\ldots$ und den Leitungsfähigkeiten $C, C_1, C_2 \ldots\ldots$ zusammengesetzten Körper hat man:

$$M = \frac{t - t'}{\frac{e}{C} + \frac{e'}{C'} + \frac{e''}{C''} + \ldots}$$

Zum ungefähren Anhalte für die Bestimmung des Wärmedurchganges durch die umschließenden Flächen eines Raumes dienen nachstehende Angaben:

Der Wärmeverlust pro 1 m^2 Umfang und pro Stunde beträgt für jeden Grad C Temperaturdifferenz:

für Ziegelmauerwerk von

m Dicke	Calorien	*m* Dicke	Calorien
0·130	2·64	0·640	0·90
0·250	1·80	0 770	0·75
0·380	1·31	0·900	0·66
0·510	1·07	1·030	0·6

für hölzerne Thüren bei 5 *cm* Stärke : 2·5 Calorien;
gestaakte und gelehmte Decken mit Fußböden : 0·5 Calorien;
Doppelfenster oder einfache Thür : 1·5 Calorien;
einfache Fenster : 3 Calorien;
Fußboden mit Holz, dicht : 0·4 Calorien.

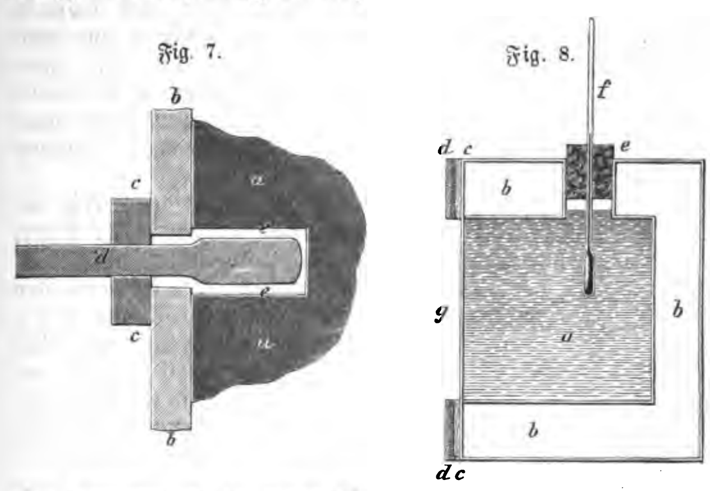
Um die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung nach außen einer möglichst directen Schätzung unterziehen zu können, hat J. Lowthian Bell*) bei Hochöfen folgenden Weg eingeschlagen:

*) „Über die Entwicklung und Verwendung der Wärme in Hochöfen," deutsch von P. Tunner.

Der Blechmantel des Ofens bb (Fig. 7) wurde durchbohrt und in das Ofenmauerwerk aa das Loch ee gebohrt; in diese Oeffnung wurde das empfindliche Thermometer d eingesenkt, das mit einem eisernen Ringe cc von derselben Dicke wie die des Blechmantels bb versehen war. In dieser Art wurde eine Reihe von Beobachtungen von der Gichthöhe bis zum Boden des Ofens ausgeführt, welche in der nachstehenden Tabelle neben Witterung, Temperatur der Atmosphäre, Windrichtung, Dicke der Ofenwand, 2c. angegeben sind.

Seite des Ofens nach der Weltgegend					N	O	S	W
Äußere Temperatur zur Beobachtungszeit					40° F.	41° F.	45° F.	39° F.
Witterung					Wind SO und stürmisch	schöne Witterung nahezu Windstille	schöne Witterung wenig Wind auf diese Seite blasend	stürmisches Wetter, Wind SO
Distanz von der Formhöhe			Dicke der Ofenwand		° F.	° F.	° F.	° F.
	Fuß	Zoll	Fuß	Zoll				
unterhalb	1	3	4	10	—	—	—	226
oberhalb	1	1	4	10	—	—	—	289
„	2	10	4	10	—	—	—	376
„	4	8	4	1·5	279	212	240	280
„	8	5	4	1	268	200	240	274
„	17	4	4	6	181	195	165	184
„	20	3	3	10	180	195	160	184
„	23	1	3	6	179	193	160	180
„	26	0	3	7	176	190	150	174
„	28	11	3	9	187	183	149	168
„	31	10	3	11	158	168	147	160
„	34	8	4	1	151	156	145	151
„	37	7	4	3	145	144	131	139
„	40	6	4	4	137	137	120	136
„	43	4	4	5	130	131	120	130
„	46	3	4	6	127	131	118	128
„	49	2	4	7	123	128	116	125
„	51	0	4	8	121	122	116	120
„	53	11	4	9	120	110	114	114
„	56	9	4	10	116	103	110	112
„	59	8	5	0	113	100	104	110
„	62	7	5	1	103	94	100	110
„	65	6	5	2	100	94	98	107

Ueber der hier angegebenen Höhe war der Zutritt zu schwierig, weshalb die höhere Partie des Ofenschachtes nicht untersucht wurde. Es traten in gewissen Zonen zwar Unregelmäßigkeiten auf, ohne einen Grund dafür zu ersehen; aber im Ganzen sind die Resultate ziemlich regelmäßig. In der Region der Formen erscheint ein abkühlender Effect dort, wo der Wind eintritt, indessen steigt die Temperatur wieder rasch in 2 Fuß 10 Zoll (engl.) Höhe ober den Formen und fällt dann abermals rasch; eine Erscheinung, die wahrscheinlich mit der bei Kokehoch-



öfen vornehmlich in dieser Höhe vorgehenden Zerlegung der unterhalb gebildeten Kohlensäure zusammenhängt.

Um nun zu einer Vorstellung über den Wärmeverlust an dieser so ungleich erwärmten Oberfläche zu gelangen, wurde ein Calorimeter aus Kupfer mit genau 19 Liter Wasserinhalt (41·8 ℔ englisch) vorgerichtet. Die Fig. 8 zeigt die Einrichtung desselben. a stellt den mit Wasser gefüllten Theil vor, welcher von einem, zwischen doppelten Wänden eingeschlossenen Luftraume bb auf fünf Seiten umgeben, an der sechsten, genau 1 Quadratfuß haltenden Fläche g aber frei gelassen ist. Am Rande dieser freien Seite, gleichsam als Decke des mit Luft gefüllten Zwischenraumes ist ein hölzerner Rahmen angebracht

und mit mehreren Lagen von Flanell, dd, versehen. Die Außenseite des Luftraumes bb ist gleichfalls mit Flanell bedeckt, und soll dies alles dazu dienen, den Zutritt der Wärme zum Calorimeter an allen anderen Seiten, außer der Oberfläche g hintanzuhalten. In den dicken Spund e ist ein Thermometer eingeführt.

Bei dem Gebrauche war dieser Apparat mit seiner freien Seite gegen den Ofen gewendet, an diesen angepreßt; der weiche Flanell schmiegte sich dabei an die Oberfläche, so daß zwischen der Seite d und der Oberfläche keine Luft passiren konnte. Der Zwischenraum zwischen der Fläche g und dem Ofen war ungefähr 1 Zoll oder etwas darüber. In Zeiträumen von 2 bis 6 Stunden wurde die Zunahme der Temperatur, die dem Wasser mitgetheilt war, erhoben, wobei dasselbe stets vorerst durcheinandergerührt und dann die Temperaturen abgelesen wurden.

Auf diesem Wege wurde ermittelt, daß eine Partie der Ofenwandung, welche eine Temperatur von 124° F. hatte, per Stunde und Quadratfuß 46·74 Calorien abgab. Eine zweite Partie von 138° F. Temperatur gab 55·4 Calorien pro Stunde und Quadratfuß; eine dritte mit 243° F. gab 117·8 Calorien; eine vierte mit 289° F. gab 151·24 Calorien. Bei einem fünften Versuche war der Apparat durch 16 Stunden an derselben Stelle belassen, wonach das Wasser bis auf 2° F. die Temperatur der Oberfläche an dieser Stelle angenommen hatte.

Um nun die Zahl der Wärmeeinheiten des Verlustes zu erhalten, wurde die mittlere Temperatur der Mantelfläche über der Kohlsackhöhe mit 138·5° F. berechnet, der 55·4 Calorien Wärmeausstrahlung per Quadratfuß entsprechen, und da die betreffende Mantelfläche 4900 Quadratfuß beträgt, gibt dies

4900 × 55·4 = ...	271,460	Calorien
Die Außenfläche zwischen Kohlsack und Rasthöhe mit 450 Quadratfuß und 118 Calorien gibt	53,100	„
Die Außenfläche zwischen Rasthöhe und Boden hat 321 Quadratfuß und 151·25 Calorien, gibt also	48,551	„
Zusammen	373,111	„

pro Stunde.

Hiezu sollten strengegenommen noch die Wärmeverluste durch den Boden und die Witterungsveränderungen gerechnet werden, wofür jedoch die nöthigen Daten mangeln und dieserwegen hierauf nicht weiter reflectirt wurde.

Zu dieser ganz vorzüglichen Methode die Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung zu bestimmen, ist nur zu erwähnen, daß es nothwendig ist, um nicht zu kleine Resultate zu erlangen, das Calorimeter nur kurze Zeit — höchstens $^1/_4$ Stunde — an den Ofen angepreßt zu halten, sowie darauf zu sehen, daß dasselbe möglichst die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hat, da ja, wie schon oben erwähnt, die Größe der Wärmeleitung und Strahlung sich mit der Temperaturdifferenz ändert, die zwischen Wärme abgebendem und Wärme aufnehmendem Körper besteht.

Fig. 9.

Im übrigen ist das Instrument im Principe ganz mit dem bekannten Pyrheliometer von Pouillet identisch.

Ein einfaches Instrument zur Ermittlung des Strahlungsverlustes ist auch das in Fig. 9 abgebildete, das der Verfasser für derartige rasche Bestimmungen verwendet. Es besteht aus zwei vollständig gleichen Thermometern, die auf den beiden entgegengesetzten Seiten eines mit Watta oder ähnlichen schlechten Wärmeleitern erfüllten Holzkästchens angebracht sind. Man stellt das Instrument so auf, daß das eine der beiden Thermometer dessen Kugel berußt ist, gerade gegen den strahlenden Körper gerichtet ist, während das andere durch das Kästchen gegen die Strahlung geschützt wird. Wenn das letztere nicht mehr steigt, liest man beide ab. Die Temperaturdifferenz multiplicirt mit einem erfahrungsmäßig ermittelten Factor gibt die Wärmeausstrahlung per m^2 und Stunde in der Entfernung des Instrumentes vom ausstrahlenden Körper.

Die Bestimmung des Factors erfolgt mittelst des Pyrheliometers oder eines dem Bell'schen ähnlichen Calorimeters.

In neuerer Zeit will man (Siemens Heizverfahren mit freier Flammenentfaltung) die Wärmeausstrahlung

der Flamme zur möglichsten Nutzbarmachung derselben anwenden, und wirklich sind die so erhaltenen Resultate, wenigstens bei Siemens-Martinöfen, sehr günstige (siehe Hanns v. Jüptner und Friedrich Toldt, chemisch calorische Studien über Generatoren und Martinöfen. Separatabdruck aus der österr. Ztschft. f. Bg. und Htt. W. 1888). In Zusammenhang mit diesen Bemühungen stehen die interessanten Versuche, die Fr. Rosetti (Annales de Chimie et de Phys., Décembre 1879, p. 457) über die Wärmestrahlung von Flammen angestellt hat, von welchen das Wichtigste mitgetheilt werden möge.

Der Wärmeeffect, den zwei hintereinanderstehende Flammen auf eine Thermosäule ausüben, ist stets kleiner als die Summe der beiden einzeln gemessenen Wärmewirkungen. Daraus folgt, daß die Strahlen der einen Flamme beim Durchgange durch die andere zum Theil absorbirt werden. So absorbirt die blaßblaue Flamme eines Bunsenbrenners von etwa 1 *cm* Dicke 0·13 der Wärmestrahlen einer zweiten Flamme gleicher Art, läßt also bloß 0·87 durch. Das Durchlaßvermögen einer weißen, hellleuchtenden Gasflamme von 4 *mm* Dicke gegen eine andere derselben Art beträgt 0·943.

Wenn die Dicke der Flamme wächst, so wächst auch die Intensität der Strahlung, aber gleichzeitig ändern sich Absorption und Durchlässigkeit. Rosetti ermittelte die Formel, welche die Intensität der Strahlung als Function des Durchsichtigkeits-Coëfficienten und der Dicke der Flamme ausdrückt, und fand, daß die Formel, zu welcher er gelangte, vollkommen bestätigt wurde durch die Versuche, in denen er mehrere Flammen hintereinander gleichzeitig wirken ließ. Als er nun die in den Experimenten gefundenen Strahlungsgrößen nach der gefundenen Formel für gleiche Dicken der Flamme berechnete, fand er, daß die weißen leuchtenden Flammen des Leuchtgases und die sehr wenig leuchtenden blauen Flammen desselben Gases bei gleicher Dicke in gleicher Weise durchlässig sind für die Wärmestrahlen, welche respective von Flammen gleicher Art herkommen. Erinnert man sich daran, daß Herr Allard in einer seiner Versuchsreihen gefunden hat, daß der Coëfficient der optischen Durchlässigkeit durch den Werth 0·86 ausgedrückt wird, so wird man versucht auf die Gleichheit der thermischen und optischen Durchlässigkeit der

Flammen zu schließen, mögen sie stark oder wenig leuchtend sein, vorausgesetzt, daß die Strahlen, welche sie durchsetzen, von Flammen derselben Natur ausgehen. Der Werth des Durchsichtigkeits-Coëfficienten für die Dicke von 1 *cm* wäre im Mittel 0·865.

Berechnet man mit Hilfe der gefundenen Formel das Wärme-Emissionsvermögen der Flammen für zunehmende Dicken, so findet man, daß bei der Dicke von einem Meter bereits der Maximalwerth der Wärmestrahlung faktisch erreicht ist, so daß eine weitere Steigerung der Dicke der Flamme keine merkliche Zunahme der Strahlungsintensität zur Folge hat. Flammen von 1 Meter Dicke und darüber sind somit atherman (undurchlässig für Wärmestrahlen) für Strahlen gleich beschaffener Flammenseite.

Man darf somit schließen, daß die Wärmestrahlung einer weißen, hellen Gasflamme von unendlicher Dicke dieselbe Intensität besitzt, wie die Strahlung einer festen Oberfläche von größtem Emissionsvermögen, die an der Stelle der vorderen Flammenseite liegt, und dieselbe Ausdehnung hat.

Rosetti schlägt vor, das Verhältniß der Strahlungsintensität einer Flamme von unendlicher Dicke zur Strahlungsintensität einer festen Fläche von größtem Emissionsvermögen und gleicher Temperatur bei gleichem Abstande und gleicher Ausdehnung das „absolute Wärme-Emissionsvermögen“ zu nennen. Nach dem eben mitgetheilten ist dieser Werth für die hellen, weißen Flammen gleich Eins. Für die blauen, nicht leuchtenden Flammen ist das absolute Wärme-Emissionsvermögen gleich 0·3219. Haben die Flammen eine beschränkte, bestimmte Dicke, so drückt dasselbe Verhältniß ihres Strahlungsvermögens zu dem einer Rußfläche von gleicher Temperatur das „relative Wärme-Emissionsvermögen“ aus, das für die blauen, nicht leuchtenden Flammen von der Dicke von 4 *mm* = 0·01744 und für die weißen, hellen Flammen gleicher Dicke = 0·057 ist.

IX. Capitel.

Calorisches Aequivalent der Elektricität. — Elektrische Maßeinheiten.

Obwohl die Aufgabe den Nutzeffect in elektrischen Anlagen zu ermitteln eine verhältnißmäßig neue ist, wird sie doch von Jahr zu Jahr eine häufigere und wichtigere. Da diese Aufgabe jedoch vor allem eine Reihe von Instrumenten erfordert, welche bei der Bestimmung des Nutzeffectes von Feuerungsanlagen nicht in Gebrauch kommen, und gerade auch wegen der großen Wichtigkeit derartiger Untersuchungen, wollen wir die ausführliche Beschreibung der Art und Weise, wie derartige Bestimmungen ausgeführt werden, einem eigenen Werke überlassen und uns hier nur auf die nothwendigsten Daten zum allgemeinen Verständniß dieser Untersuchungen beschränken.

Wir können uns hier damit begnügen, die verschiedenen elektrischen Maßeinheiten zu besprechen und insbesondere das mechanische und das calorische Aequivalent der Elektricität anzuführen.

Man hat heute zur Messung der verschiedensten mechanischen und physikalischen Größen drei Fundamental-Einheiten gewählt, nämlich für die Längen den Centimeter, für die Masse das Gramm (den Cubikcentimeter Wasser im Zustande seiner größten Dichte) und für die Zeit die Sekunde. Auf diesen „C. G. S." (Centimeter-Gramm-Sekunden-) Einheiten basirt das sogenannte absolute Maßsystem.

Nach den Beschlüssen des internationalen Congresses der Elektriker können wir die nachfolgenden Definitionen aufstellen:

A. Fundamentaleinheiten.

1. Längeneinheit ist der Centimeter; er wird definirt als der hundertste Theil der Länge des Platinmaßstabes bei 0°, welcher als Normalmeter bezeichnet ist und im Archive in Paris aufbewahrt wird; die Längendimensionen werden bezeichnet mit **L**.

2. Masseneinheit ist die Masse eines Grammes, welche definirt wird als der tausendste Theil jenes Platin-



blockes, welcher als „Normalkilogramm" im Archive aufbewahrt wird. Da der letztere nicht genau der Masse eines Cubikdecimeters reinen Wassers von 4° C. gleich ist (er weicht um ca $+ 0\cdot000013$ davon ab) so differirt auch die angenommene Masseneinheit um diesen Werth von der Masse eines Cubikcentimeters reinen Wassers bei obiger Temperatur. — Die Masse wird bezeichnet mit **M.**

3. Zeiteinheit. Als solche gilt die Sekunde, d. i. der $\frac{1}{24 \times 60 \times 60}$te Theil des mittleren Sonnentages. Die Zeit wird bezeichnet mit T.

B. Mechanische Einheiten.

1. Einheit der Geschwindigkeit. — Als solche gilt jene Geschwindigkeit eines Beweglichen, welche die Längeneinheit in der Zeiteinheit durchläuft.

$$\text{Bezeichnung: } V = \frac{L}{T}$$

2. Die Einheit der Beschleunigung ist jene Beschleunigung eines Beweglichen, dessen Geschwindigkeit in der Zeiteinheit um eine (Geschwindigkeits-) Einheit zunimmt.

$$\text{Bezeichnung: } G = \frac{V}{T} = \frac{L}{T^2}$$

3. Als Einheit der Kraft bezeichnet man jene Kraft, welche der Masseneinheit die Einheit der Beschleunigung ertheilt. Sie heißt „Dyne". Bezeichnung:

$$F = M.G = \frac{M.L}{T^2}$$

Das Gewicht eines Grammes ertheilt seiner eigenen Masse (in Paris) eine Beschleunigung von 980·896 Einheiten, sie hat somit 980·896 Dynes und das Dyne ist daher eine Kraft, die sehr nahe dem Gewichte eines Milligrammes gleich kommt.

1 Milligramm = 0·980896 Dyne
1 Gramm = 0·980896 Kilodyne = 980·896 Dyne
1 Kilogramm = 0·980896 Megadyne = 980·896 Kilodyne = 980896 Dyne
(1 Megadyne = 1000 000 Dynes)

4. Einheit der Arbeit oder Einheit der Energie ist jene Arbeit, welche von der Krafteinheit geleistet wird, indem sie ihren Angriffspunkt längs ihrer eigenen Richtung um die Längeneinheit verschiebt; man nennt sie „Erg"

$$\text{Bezeichung: } W = F \cdot L = \frac{M \cdot L^2}{T^2}$$

Das „Erg" hat einen sehr kleinen Werth; ein Meterkilogramm entspricht:
$0{\cdot}980896 \times 10^6 \times 10^2 = 0{\cdot}980896 \times 10^8 = 98089600$ „Ergs" oder $98{\cdot}0896$ Megaergs.

Drückt man die Wärme, welche ja auch eine Form der Energie ist, in Ergs aus, so erhält man

1 Calorie $= 428$ Kilogrammeter $= 428 \times 0{\cdot}980896 \times \times 10^8 = 4{\cdot}2 \times 10^5$ Ergs $= 42000$ Megaergs

5) Einheit der Leistung nennt man jene Leistung eines Motors, welcher die Arbeitseinheit in der Zeiteinheit verrichtet. Bezeichnung:

$$G = \frac{W}{T} = \frac{M.L^2}{T^3}$$

Diese Einheit ist von so außerordentlicher Kleinheit, daß eine Fliege schon einen Motor von mehreren Einheiten darstellt.

1 Pferdekraft $= 75 \times 0{\cdot}890896 \times 10^8 = 7{\cdot}35672 \times 10^9$ $= 7356720000$ Einheiten.

C. Elektromagnetische Einheiten.

1. Einheit der magnetischen Kraft ist jene „Menge" Magnetismus, welche auf eine gleich große Menge derselben in der Einheit der Entfernung mit der Einheit der Kraft einwirkt. Sind Q und Q_1 zwei magnetische „Mengen," so ist nach dem Coulomb'schen Gesetze:

$$F = \frac{Q \cdot Q_1}{L^2}$$

und folgerichtig

$$Q = L \sqrt{F} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}}}{T}$$

2. *Einheit des magnetischen Feldes* ist dasjenige, in welchem die Einheit des Magnetismus unter der Wirkung der Krafteinheit steht. Bezeichnet man die Intensität des magnetischen Feldes mit H, die „Menge" des Magnetismus mit Q, so ist die Kraft, welche auf letztere wirkt,

$$F = H . Q$$

und somit

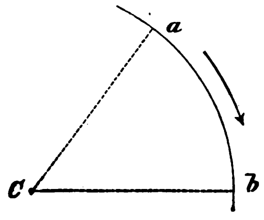
$$H = \frac{T}{Q} = \frac{M^{\frac{1}{2}}}{T . L^{\frac{1}{2}}}$$

3. *Einheit des magnetischen Momentes* ist das Moment eines Magneten, dessen Pole die Einheit des Magnetismus enthalten und sich in der Einheit der Entfernung befinden.

$$\text{Bezeichnung: } J = Q . L = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}}}{T}$$

4. *Stromeinheit* nennt man die Intensität eines Stromes, welche in einem Kreisbogen (Fig. 10) von der Länge 1 (*cm*) und dem Radius 1 (*cm*) die Kraft 1 auf eine Magneteinheit in der Mitte des Kreises ausübt.

Fig. 10.



Jene Kraft F, mit welcher nach den Gesetzen von *Ampère* und *Pouillet* ein Stromelement von der Länge 1 und der Intensität J auf eine magnetische Masse Q in der Entfernung L in einer Richtung wirkt, welche mit der Richtung des Elementes den Winkel α einschließt, berechnet sich nach der Gleichung:

$$F = \frac{Q . J . l . \sin \alpha}{L^2}$$

Das Stromelement erzeugt somit in der Richtung α und in der Entfernung L ein magnetisches Feld

$$H = \frac{F}{Q} = \frac{J . l . \sin \alpha}{L^2}$$

Umgekehrt ist die Kraft, welche auf ein Stromelement wirkt, das sich in einem magnetischen Felde H befindet, dessen

Kraftlinien einen Winkel α mit der Richtung des Stromes machen (eine Kraft deren Richtung senkrecht zur Ebene des Elementes und der Kraftlinie steht), gegeben durch:

$$F = H.J.l. \sin \alpha.$$

Endlich ist die gegenseitige Wirkung zweier Stromelemente, von der Intensität J und J_1, der Länge l und l_1, die sich in einer Entfernung L von einander befinden und mit der Geraden, welche sie verbindet, die Winkel α und α_1 bilden, und zwar so, daß die zwei Ebenen, welche je durch diese Gerade und eines der Stromelemente gelegt werden, einen Winkel ω einschließen, in absolutem Werthe gegeben nach der Formel von Ampère:

$$F = \frac{J.J_1\ l.l_1\ (2 \sin \alpha . \sin \alpha_1 \cos \omega - \cos \alpha \cos \alpha_1)}{L^2}$$

Man bezeichnet nun:

$$J = \frac{F}{H.L} = \sqrt{F} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}}{T}$$

Den zehnten Theil dieser Einheit bezeichnet man als „Ampère“.

Um eine Idee von der Art der Größe eines Ampère zu geben, wollen wir anführen, daß ein Galvanometer mit einer einzigen Nadel von mäßiger Empfindlichkeit, in Milli-Ampère getheilt werden kann. Ein Bunsensches Element von mittlerer Größe (Höhe des Zinkcylindes = 0·19 *m*, Durchmesser 0·09 *m*) gibt, im kurzen Schlusse einen Strom von 12 bis 13 Ampère; ein Danielle'sches Element von mittlerer Größe (Zinkcylinder außen, Höhe 0·19 *m*, Durchmesser 0·09 *m*; Kupfer innen, Durchmesser 0·05 *m*) mit Zinksulfat gibt bei kurzem Schluß, einen Strom von beiläufig 1·3 Ampère.

Man bezeichnet das Ampère mit A.

5. Einheit der Elektricitätsmenge ist jene Elektricitätsmenge, welche durch den Querschnitt eines Leiters mit der Einheit des Stromes in der Zeiteinheit hindurchgeht:

$$A = J.T = M^{\frac{1}{2}} . L^{\frac{1}{2}}$$

Den zehnten Theil dieser Einheit nennt man **Coulomb**, d. h. ein Ampère bewirkt den Durchgang von 1 Coulomb in einer Sekunde durch den Querschnitt eines Leiters.

Die absolute Einheit der Elektricität zersetzt nach Mascart von den in Milligramm ausgedrückten chemischen Aequivalenten der Körper ein Bruchtheil = 0·10415, z. B. 0·9373 Milligramm Wasser.

6. Widerstandseinheit ist der Widerstand eines Leiters, in welchem die Stromeinheit die Arbeitseinheit in der Zeiteinheit verbraucht. Nach dem Gesetze von Joule ist aber, wenn R den Widerstand bedeutet,

$$W = R . J^2 T$$

daher

$$R = \frac{W}{J^2 T} = \frac{L}{T} \text{ (also eine Geschwindigkeit.)}$$

Die 1,000,000,000fache Widerstandseinheit hat man als „Ohm" bezeichnet und der internationale Congreß entschied, daß ein Normal-Ohm hergestellt werde, durch eine Quecksilbersäule bei 0° von 1 *mm*² Querschnitt und einer Länge, welche durch neue Versuche genau zu bestimmen sein wird. Neue Versuche ergaben eine Länge von 106 *cm*.

Die „Siemens-Einheit" ist nahe 0·943 Ohm und das von der British Association gegebene Normal-Ohm ist zu klein und entspricht nur 0·990 Ohm.

7. Einheit der elektromotorischen Kraft, oder Potentialdifferenz nennt man jene elektromotorische Kraft, welche in der Einheit des Widerstandes die Stromeinheit erzeugt.

Bezeichnet man mit E die elektromotorische Kraft, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze

$$E = J . R = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}}{T} . \frac{L}{T} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}}}{T^2}$$

Die 100,000,000fache Einheit bezeichnet man als „Volt".

Ein Volt gibt 1 Ampère in 1 Ohm:

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$$

Die elektromotorische Kraft eines Volta'schen Elementes (Zink, Kupfer, Zinksulfat oder angesäuertes Wasser) ist im Mittel gleich 1 Volt. Jenes eines Daniell'schen Elementes (Kupfer, Kupfersulfat, Zinksulfat, amalgamirtes Zink) schwankt zwischen 1·09 und 1·14 Volts.

8. Einheit der Capacität. — Man versteht hierunter die Capacität eines Condensators, von dessen Belegungen jede mit der Einheit der Elektricität geladen sein würde, wenn die Einheit der Potentialdifferenz vorhanden ist. Bezeichnet man mit C die Capacität, so ist:

$$A = C . E$$

oder

$$C = \frac{A}{E} = \frac{T^2}{L}$$

Diese Einheit ist enorm groß. Die Capacität der Sonne ist kleiner als $\frac{1}{10,000,000,000}$ der absoluten Einheit.

Als praktische Einheit hat man den $\frac{1}{1000,000,000}$ ten Theil dieser Einheit gewählt und als Farad bezeichnet. Ein Condensator von 1 Farad ist jener, welcher auf beiden Belegungen mit je 1 Coulomb geladen, eine Potentialdifferenz von 1 Volt zwischen beiden Belegungen gibt.

1 Coulomb = 1 Farad × 1 Volt.

Auch das Farad ist noch unbequem groß; man greift daher zum Mikrofarad, d. i. $\frac{1}{1000,000,000,000,000}$ der absoluten Einheit. Um sich von diesem Maße eine Vorstellung zu machen, sei erwähnt, daß eine Leydner Batterie von 1 m^2 Oberfläche und einer Glasdicke der Flaschen von 1 *mm* eine Capacität von etwa $\frac{1}{55}$ Mikrofarad besitzt.

D. Elektrostatische Einheiten.

1. Die Einheit der Elektricität ist jene Elektricitätsmenge, welche auf eine gleichgroße Menge in der Einheit der Entfernung mit der Einheit der Kraft wirkt. Sind a und a_1 zwei Elektricitätsmengen, so ist nach dem Coulomb'schen Gesetze

$$F = \frac{a . a_1}{L^2}$$

also für $a = a_1$

$$a = L \sqrt{F} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}}}{T}$$

2. Einheit des Potentiales ist jenes Potential, das von der Elektricitätseinheit in der Einheit der Entfernung hervorgebracht wird.

$$e = \frac{a}{L} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}}{T}$$

3. Einheit der Capacität, d. i. diejenige eines Condensators, dessen Belegungen mit der Elektricitätseinheit geladen sind, bei einer Potentialdifferenz gleich der Einheit. — Bezeichnet man mit c die Capacität und mit e die Potentialdifferenz, so hat man:

$$a = c \cdot e$$

oder

$$c = \frac{a}{e} = L$$

Capacitätseinheit ist auch die Capacität einer Kugel vom Radius 1, welche in unendlicher Entfernung von jedem elektrischen Körper sich befindet.

E. Beziehungen zwischen den elektrostatischen und den elektromagnetischen Einheiten.

1. Elektricitätsmenge. Bezeichnet man mit K das Verhältniß zwischen der Zahl a, welche das Maß der Elektricitätsmenge in elektrostatischen Einheiten, und der Zahl A, welche das Maß derselben Elektricitätsmenge in elektromagnetischen Einheiten gibt, so ist:

$$K = \frac{a}{A} = \frac{\frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}}}{T}}{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}} = \frac{L}{T}$$

Die Dimensionen von K sind also dieselben, wie die einer Geschwindigkeit.

Der Versuch hat nun sehr bemerkenswerther Weise ergeben: Der Werth von K ist der Geschwindigkeit des Lichtes gleich, d. i. K = 30.000.000 000.

Man hat daher als Umwandlungsformel

$$A = \frac{a}{3 \times 10^{10}}$$

woraus sich ergibt, daß A gegenüber a sehr klein ist.

2. Potentialdifferenz. — Die Arbeit W elektrischer Kräfte, welche auf eine Elektricitätsmenge (A im elektromagnetischen, a im elektrostatischen Maße) einwirken, welche Menge zwischen zwei Punkten von der Potentialdifferenz E (im elektromagnetischen) oder e (im elektrostatischen Maße) sich bewegt, ist gegeben durch:

$$W = A \,.\, E = a \,.\, e.$$

Man hat daher

$$\frac{E}{e} = \frac{a}{A} = K$$

daher für die Umwandlungsformel

$$E = e \times 3 \times 10^{10}$$

Es ist also E gegenüber e sehr groß.

3. Capacität. — Man hat $C = \frac{A}{E}$, $c = \frac{a}{e}$, daher

$$\frac{C}{c} = \frac{A}{a} \cdot \frac{e}{E} = \frac{1}{K^2}$$

daher als Umwandlungsformel:

$$C = \frac{c}{9 \times 10^{20}};$$

es ist also C gegenüber c außerordentlich klein.

Zum Schlusse wollen wir noch die wichtigsten praktischen Einheiten zusammenstellen:

1 Ampère zerlegt in einer Stunde 0·3390 Gramm Wasser
1 „ fällt „ „ „ 1·1700 „ Kupfer
1 „ „ „ „ „ 3·9600 „ Silber

1 Ampère $= 0{\cdot}885 \frac{\text{Daniell}}{\text{Siemens}}$

2 Volt = 0·8930 (0·9270?) Danielle

1 Volt-Ampère = 1 Watt ist die dem Producte aus 1 Volt in ein Coulomb oder die der Arbeit eines Volt in 1 Ampère in der Secunde entsprechende Energie.

1 Volt-Ampère (Watt) in der Secunde

$$= \frac{1}{9{\cdot}81} = 0{\cdot}102 \; m\,kg = 0{\cdot}00135 \text{ PS}$$

1 P. S. (metrische Pferdekraft)	= 75 *mkg*	per	1″	
	= 4500 „	„	1′	
	= 270000 „	„	1^h	
	= 736 V.-A (Volt-Ampère)			
1 H. P. (engl. Pferdekraft)	= 550 Fußpfund	per	1″	
	= 33000 „	„	1′	
	= 1980 000 „	„	1^h	
	= 746 V.-A			

1 Calorie = $4166\frac{2}{3}$ Watt.

II. Abtheilung.

Die Brennstoffe und die Verbrennungsluft.

I. Capitel.

Die Brennstoffe. Allgemeines.

Obwohl die eingehende Besprechung der Brennstoffe uns hier zu weit führen würde, muß doch über dieselben als die eigentliche Grundlage unserer Untersuchungen wenigstens das Allerwichtigste mitgetheilt werden.

Die in der Praxis bei Feuerungsanlagen in Verwendung kommenden Brennstoffe enthalten alle Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff oder doch mindestens zwei dieser Elemente, daneben aber meistens auch noch Stickstoff, hygroskopisches Wasser und Mineralstoffe. — Alle übrigen Brennstoffe, wie z. B. das Silicium oder der Phosphor im saueren, respective basischen Bessemerprocesse, können hier außer Betracht gelassen werden.

Man kann die Brennmaterialien im engeren Sinne in folgender Weise eintheilen:

1. Feste Brennstoffe:

a) rohe oder natürliche feste Brennmaterialien:

α) vegetabilische Brennstoffe.

Holz durchschnittlich enthaltend 50% C, 6% H, 43% O, 1% N

β) fossile Brennstoffe.

Torf	durchschnittlich mit	59% C, 6% H, 42·5% O, 0·5% N
Braunkohle	„ „	70% C, 5% H, 24·5% O, 0·5% N
Steinkohle	„ „	82% C, 5% H, 12 % O, 1 % N
Anthracit	„ „	95% C, 2·5 % H, 2·5 % O, Spur N

(Von Wasser und Aschengehalt wurde abgesehen, da diese in ziemlich weiten Grenzen schwanken.)

b) verkohlte Brennstoffe, am Wege der trockenen Destillation aus den vorigen gewonnen, und zwar aus:

α) vegetabilischen rohen Brennstoffen:
Holzkohle,

β) fossilen rohen Brennstoffen:
Torfkohle,
Braunkohlen-Kocke,
Steinkohlen-Kocke.

2. Flüssige Brennstoffe:

Petroleum, Alkohol, Theer ꝛc.

3. Gasförmige Brennstoffe.

Natürliches Gas. Als Beispiel möge die durchschnittliche Zusammensetzung von pennsylvanischem Naturgas nach Muck mitgetheilt werden:

Methan, CH_4	67 %
Wasserstoff, H_2	22 „
Stickstoff, N_2	3 „
Aethan, C_2H_6	5 „
Aethylen, C_2H_4	1 „
Kohlensäure, CO_2	0·6 „
Kohlenoxyd, CO	0·6 „

Leuchtgas,
Generatorgas,
Wassergas ꝛc.

Bei der trockenen Destillation der natürlich vorkommenden Brennstoffe, d. h. beim Erhitzen derselben ohne (oder doch mit sehr beschränktem) Luftzutritt bildet das verkohlte Brennmateriale den festen Rückstand, während gasförmige und flüssige Producte entweichen, die in manchen Fällen auch ganz oder theilweise nutzbar gemacht werden.

Bei Angabe der Zusammensetzung der Brennmaterialien kommt es vor, daß man den vorhandenen Sauerstoff an Wasserstoff (als sogenanntes „chemisch gebundenes Wasser") gebunden annimmt, und den darüber noch vorhandenen Wasserstoff als „disponiblen" bezeichnet. So würde z. B. die Analyse einer Ostrauer Nußkohle ergeben:

Kohlenstoff	75·56%	
disponibler Wasserstoff	2·45 „	
Wasser, chemisch gebunden	10·39 „	} 11·95%
Wasser, hygroskopisch	1·56 „	
Stickstoff	0·76 „	
Asche	9·28 „	
Summe	100·00	

Es ist wohl überflüssig zu erwähnen, daß dieses „chemisch gebundene Wasser" durchaus nicht als Wasser in den Brennstoffen vorhanden ist; diese Annahme ist jedoch bequem, wenn es sich darum handelt, die zur Verbrennung eines bestimmten Quantums eines Heizstoffes nöthige Luft zu berechnen.

Zunächst interessirt uns von den Brennstoffen ihre chemische Zusammensetzung, d. i. in erster Linie ihr Gehalt an hygroskopischem Wasser, ihr Aschengehalt, die Zusammensetzung des verbrennlichen Theiles derselben, sowie ihrer Asche; in manchen Fällen auch ihre Gasgiebigkeit und ihr Koke-Ausbringen.

Die Ermittlung der Zusammensetzung des verbrennlichen Theiles der Kohlen sowie ihrer Asche hier zu beschreiben würde uns zu weit führen, wir verweisen in dieser Hinsicht auf H. v. Jüptner „praktisches Handbuch für Eisenhüttenchemiker" p. 209 ff und p. 153 ff. Hier müssen wir uns darauf beschränken, nur die einfach auszuführenden Bestimmungen des Nässe- und Aschengehaltes, sowie des Gas- und Koke-Ausbringens kurz zu beschreiben.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Erlangung einer richtigen Durchschnittsprobe. Den Kohlenhaufen, von welchem eine Probe genommen werden soll, durchschneidet man mittelst zweier oder mehrerer Gräben (die aber bis auf den Boden reichen müssen) und wirft die hierbei ausgeschaufelten Kohlen zu einem neuen quadratischen oder rechteckigen Haufen auf. Diese Operation wiederholt man (indem man je kleiner die gewonnenen

Haufen werden auch mit der Zerkleinerung der Kohlenstücke fortschreitet) so lange, bis man endlich zu einem ziemlich fein gepulverten Häufchen von etwa 1 dm^3 Inhalt gelangt. Diese Menge wird nun recht fein gepulvert und hieraus die zur Analyse zu verwendende Durchschnittsprobe am besten nach der, im chemisch-technologischen Laboratorium der k. k. Hochschule für Bodencultur angewendeten Methode von F. Schwackhöfer erhalten. Das feine Pulver wird gut durchgerührt und in einem quadratischen Blechkasten von etwa 0·5 *m* Seite und 3 bis 4 *cm* Höhe flach ausgebreitet; nun wird in diesen Kasten ein Blecheinsatz eingelegt, welcher 100 quadratische Felder von 5 *cm* Seite besitzt; aus jedem Fache wird mittelst eines Hornlöffels eine kleine Menge des Kohlenpulvers herausgenommen, alle diese Partien gut gemischt und nochmals in dem inzwischen gut gereinigten Blechkasten ausgebreitet. Nach dreimaliger Wiederholung dieser Operation kann man sicher sein, eine gute Durchschnittsprobe zu besitzen.

Wasserbestimmung: Die Bestimmung des Wassergehaltes (Nässegehaltes) erfolgt durch Trocknen von 5 bis 10 Grammen des möglichst verkleinerten Materiales (bei Holz in Form von möglichst kleinen Spähnen) bei 100° C. (und zwar nach F. Schwackhöfer im Wasserstoffstrome) in einem Trockenkasten bis zum constanten Gewichte. Die Temperatur von 100° C. soll nicht überschritten werden, da Steinkohlen schon bei wenig höherer Temperatur flüchtige Stoffe zu entwickeln beginnen. Das Trocknen soll im Wasserstoffstrome vorgenommen werden, da im Luftstrome schon bei dieser niederen Temperatur eine theilweise Oxydation der Kohlen stattfindet.

Aschengehalt. Ein bis drei Gramm des möglichst zerkleinerten und getrockneten Brennmateriales werden zunächst im bedeckten Platintiegel bei mäßiger Hitze längere Zeit erhitzt, und endlich im schiefgestellten Tiegel (bei Luftzutritt) unter öfterem Wenden mittelst eines Platinspatels bis zum constanten Gewichte geglüht. Mit Vortheil bedient man sich zum Veraschen der Kohlen insbesondere aber der Koke und des Graphites eines Muffelofens. In diesem Falle verwendet man statt des Tiegels einen größeren Platindeckel oder eine kleine Platin- oder Porzellanschale.

Bestimmung der Kohlen- und Koke-Ausbeute. Hiezu wird eine abgewogene Menge der Substanz in einem bedeckten und schwach lutirten Tiegel so lange zur Rothgluth erhitzt, als brennbare Gase entweichen. Nach dem Abkühlen wird die erhaltene Koke gewogen. Der Gewichtsverlust entspricht den entwichenen Gasen.

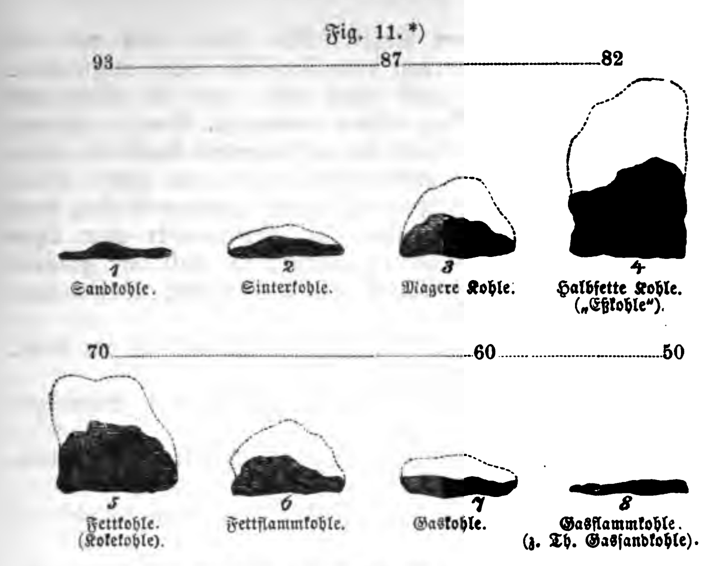
Muck erhitzt ein Gramm der fein gepulverten Kohle rasch und stark in einem Platintiegel, der mit seinem Deckel bedeckt ist, so lange, bis am Rande des Deckels keine Flamme mehr sichtbar ist. — Das Aussehen und die Menge des erhaltenen Koke benützt er dann auch (bei Steinkohlen) zur Classification der untersuchten Kohle. Er unterscheidet nämlich

Bezeichnung der Gattungen oder Classen	Elementar-Zusammensetzung C	H	O	Koke-Ausbeute %	Beschaffenheit und Aussehen der Kokes	Specifisches Gewicht
I. Trockene Steinkohlen mit langer Flamme	75 bis 80	5·5 bis 4·5	19·5 bis 15	50 bis 60	pulverförmig oder höchstens zusammengefrittet	1·25
II. Fette Steinkohle mit langer Flamme oder Gaskohle	80 bis 85	5·8 bis 5	14·2 bis 10	60 bis 68	geschmolzen, aber stark zerklüftet	1·28 bis 1·3
III. Eigentliche fette Kohlen oder Schmiedekohlen	84 bis 89	5 bis 5·5	11 bis 5·5	68 bis 74	geschmolzen bis mittelmäßig compact	1·3
IV. Fette Steinkohle mit kurzer Flamme oder Kokkohlen	88 bis 91	5·5 bis 4·5	6·5 bis 5·5	74 bis 82	geschmolzen, sehr compact, wenig zerklüftet	1·3 bis 1·35
V. magere oder anthracitische Steinkohlen	90 bis 93	4·5 bis 4	5·5 bis 3	82 bis 90	gefrittet oder pulverförmig	1·35 bis 1·4

Die vorstehende Classification gründet sich wesentlich auf den Schmelzbarkeitsgrad der Kohle, sowie auf Beschaffenheit und Menge der Glüh- (resp. Verkokungs-) Rückstände.

Die für die verschiedenen Flötzpartien Westphalens charakteristischen Formen der Verkokungsrückstände (in umgekehrter Reihenfolge wie oben) veranschaulicht nebenstehende Figur (11).

Fig. 11.*)



Die ausgezogenen Umrißlinien gelten für die bei normaler, d. h. starker Erhitzung erhaltenen Kokekuchen — die Normalprobe —, die punktirten Umrißlinien dagegen für die Kokekuchen, welche bei schwacher Erhitzung gewonnen sind — für die Blähprobe. Jede einzelne Figur bezeichnet in etwa halber natürlicher Größe, das im Platintiegel erhaltene Verkokungsproduct von 1 Gramm fein gepulverter Kohle.

Nicht nur in der Form, sondern auch in der Farbe zeigen die durch starke oder schwache Erhitzung erhaltenen Kokekuchen bemerkenswerthe Unterschiede. Wenn nämlich die „Normalprobe" überhaupt mehr oder weniger silbergraue, glänzende Kuchen liefert, so erscheinen die der „Blähprobe" stets mehr oder weniger schwarz und wenig oder gar nicht mehr glänzend. Dieselben Erscheinungen beobachtet man auch beim Ofenbetrieb, je nach heißem oder kaltem Ofengang.

Der Grund des verschiedenen Aufblähungsgrades liegt in dem verschiedenen Schmelzbarkeits- oder richtiger Flüssigkeits-

*) Die mit punktirten Linien verbundenen Zahlen bezeichnen die entsprechenden ungefähren Kokeausbeuten.



Grade der schmelzenden Kohle. Man kann dies mit der Sauerteig- oder Hefegährung vom Teig sehr wohl vergleichen. Ein zu dünner Teig „geht nicht auf", weil die Gasblasen bald platzen und der Teig wieder niedergeht. Weniger dünner und daher zäherer Teig bietet den aufsteigenden Gasblasen mehr Widerstand; es entstehen größere Höhlungen, deren zähere Wandungen beim endlichen Platzen nicht wieder zusammensinken. Aus demselben Grunde auch bildet aus Seifenwasser oder ähnlichen schleimigen Flüssigkeiten aufsteigende Luft viel größere und schwerer platzende Blasen wie aus reinem Wasser aufsteigende Luft.

Die Kohlen 1), 2) und 3) blähen nicht, weil sie gar nicht, oder unvollkommen schmelzen.

Die Kohlen 4) und 5) blähen, weil sie beim Schmelzen eine zähflüssige Masse bilden

Die Kohlen 6) und 7) blähen weniger, weil sie zu einer dünnflüssigen Masse schmelzen.

Kohle 8) verhält sich wieder wie die Kohlen 1) oder 2)

II. Capitel

Heizwerth der Brennstoffe und dessen Bestimmung.

Nächst der Zusammensetzung interessirt uns der Wärmewerth der Brennstoffe, der sich in zweifacher Weise fixiren läßt.

Einmal interessirt uns die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung von 1 *kg* des Brennmateriales gewonnen werden kann, d. i. der absolute Brennwerth, Heizwerth oder Wärmeffect; andererseits aber interessirt es uns auch, die Wärmemenge zu ermitteln, welche bei der Verbrennung der Volumseinheit eines Brennstoffes producirt werden kann, und diese bezeichnet man als den specifischen Brennwerth, ꝛc.

Man hat vorgeschlagen, den absoluten Wärmeeffect durch Versuche im Großen, d. h. durch einen Heizversuch zu ermitteln. Allein dies ist nach keiner Richtung hin empfehlenswerth. Vor allem erhält man durch solche Versuche nie den wirklichen Wärmeeffect, sondern stets zu niedrige Zahlen, dann gelten

die erhaltenen Zahlen nur für eine ganz bestimmte Feuerungsanlage, für einen bestimmten Zustand des Kessels (Kesselstein) und sind ganz erheblich von der Wartung des Feuers abhängig. Hierdurch wird der oft hervorgekehrte Nutzen einer richtigeren Durchschnittsprobe des Brennmateriales völlig illusorisch, selbst wenn es, was durchaus nicht der Fall ist, unmöglich wäre, sich richtige Durchschnittsproben von Brennmaterial auf eine andere Weise zu verschaffen. Genau dieselben Schwierigkeiten bietet es ja auch, richtige Durchschnittsproben von Erzen zu erhalten, und doch fällt es niemand ein, eine Erzpost erst nach der Höhe des Ausbringens im Ofen zu bezahlen! Endlich sind derartige Heizversuche auch ziemlich kostspielig.

Eher zu empfehlen ist die Berechnung des sogenannten theoretischen „Wärmeeffectes“ aus den Resultaten der chemischen Analyse. Auch die auf diesem Wege erhaltenen Resultate sind nicht ganz richtig, da die Kohle kein Gemenge ihrer Elementarbestandtheile, sondern ein Gemenge von uns unbekannten Verbindungen dieser Bestandtheile ist. Bei der Verbrennung wird daher offenbar ein Theil der producirten Wärmemenge zur Zerlegung dieser Verbindungen verwendet.

Die Formel

$$p = \frac{8080\,C + 34462\,(H + \frac{W}{9})}{100}$$

würde den absoluten Heizeffect dann geben, wenn der Brennstoff ein Gemenge von reinem Kohlenstoffe ($C\,\%$), reinem Wasserstoff (sowohl $H\,\%$ als $\frac{W}{9}\,\%$, d. i. der disponible und der Wasserstoff des „chemisch gebundenen Wassers“) und reinem Sauerstoff ($\frac{8}{9}\,W\,\%$) wäre. Da dies nicht der Fall ist (wie schon oben erwähnt), müssen die so erhaltenen Zahlen erheblich zu groß sein. Der Unterschied zwischen diesen Zahlen und dem thatsächlichen absoluten Wärmeeffecte stellt die Bildungswärme von 1 *kg* des Brennstoffes dar; sie ist für einige Kohlengattungen nach Professor F. Schwackhöfer's Analysen aus der weiter unten gegebenen Zusammenstellung ersichtlich.

Zur Berechnung des absoluten Wärmeeffectes der Braunkohlen (auch Holz und Torf) bedient man sich sehr häufig der von Dulong aufgestellten Formel

$$p = \frac{8080\,C + 29633\,H - 637\,(W + W_1)}{100}$$

in welcher der Procentgehalt des Brennstoffes an Kohlenstoff mit C, jener an disponiblem Wasserstoff mit H, an chemisch gebundenem Wasser mit W, endlich an hygroskopischem Wasser mit W_1 bezeichnet ist. Daß auch diese Werthe nicht richtig sein können, geht schon daraus hervor, daß hierbei angenommen wurde, daß das sogenannte chemisch gebundene Wasser eigentlich als hygroskopisches vorhanden sei, sowie, daß das durch Verbrennen des disponiblen Wasserstoffes gebildete Wasser nicht condensirt werde.

Bei Steinkohlen sind die so berechneten Zahlen stets (und oft ganz erheblich) kleiner als die thatsächlichen absoluten Heizwerthe, weshalb man sich für diese besser der Formel

$$p = \frac{8080\,C + 34462\,H}{100}$$

bedient, obwohl auch diese im Mittel um 5% zu niedere Werthe gibt. In derselben bedeutet C den Kohlenstoff-, H den disponiblen Wasserstoff-Procentgehalt.

In neuerer Zeit hat der leider kürzlich verstorbene Dr. Otto Gmelin (Österr. Ztschft. f. Bg. u. Htt. W. 1886, p. 365, 366) eine sehr einfache Methode angegeben, um den Brennwerth von Kohlen zu ermitteln. Er bestimmt den hygroskopischen Wasser- (H_2O) und den Aschengehalt der Kohle, und berechnet hieraus den Wärmeeffect der Kohle nach der Formel

$$p = [100 - (H_2O + \text{Asche})]\,80 - c\,.\,6\,H_2O$$

Der Coëfficient c ist vom Feuchtigkeitsgehalte der Kohle abhängig und hat folgende Werthe:

Hygroskopischer Wassergehalt:

					c
unter	3%				= − 4
zwischen	3	und	4·5	%	= + 6
„	4·5	„	8	„	= 12
„	8·5	„	12	„	= 10
„	12	„	20	„	= 8
„	20	„	28	„	= 6
über			28	„	= 4

Die so gefundenen Werthe stimmen mit den direct im Calorimeter gefundenen Zahlen sehr gut überein, wie die unten stehende Zusammenstellung zeigt.

Eine andere Methode zur ungefähren Bestimmung des absoluten Wärmeeffectes rührt von Berthier her. Obwohl dieselbe nur höchst ungenügende Resultate gibt, ist sie doch noch, und zwar wegen ihrer raschen und bequemen Ausführung in vielen Laboratorien im Gebrauche, weshalb sie mit einigen Worten besprochen werden möge.

Ein Gramm des getrockneten und möglichst zerkleinerten Brennmateriales wird mit der vierzigfachen Menge Bleiglätte gemischt und in eine Probirtute gebracht, mit 30 Gramm Bleiglätte und endlich mit einer 6 *mm* starken Schichte Glaspulver gedeckt, der Deckel aufgesetzt und in einem Muffel oder Windofen anfangs vorsichtig, später bis zur Rothgluth erhitzt. Nach drei viertel Stunden läßt man es erkalten, zerschlägt die Tute, befreit den Bleiregulus durch Klopfen mit einem Hammer von der Schlacke, untersucht letztere auf einzelne Bleikörner (die nicht vorhanden sein sollen) entfernt den anhaftenden Glättestaub und wägt. Jede Probe wird doppelt gemacht und die beiden Bleikönige sollen um nicht mehr als 0·1 Gramm differiren. Da ein Theil Kohlenstoff 34 Thl. Blei reducirt, so entspricht, wenn man das Gewicht des erhaltenen Bleiregulus mit q bezeichnet, $\frac{q}{34}$ dem zur Reduction desselben nöthigen Kohlenstoffe, und da die Verbrennungswärme von 1 *kg* Kohlenstoff (zu Kohlensäure) = 8080 Calorien ist, erhält man den absoluten Wärmeeffect nach der Formel

$$p = 8080 \times \frac{q}{34} = 237{\cdot}6\, q$$

Daß diese Zahlen nicht richtig sein können, geht schon daraus hervor, weil bei der Berechnung angenommen wurde, alles, was Bleioxyd zu Blei reducirt, sei Kohlenstoff; überdies ist auch bei dieser Berechnung die Bildungswärme der Kohle nicht berücksichtigt worden.

Am sichersten läßt sich der absolute Wärmeeffect auf calorimetrischem Wege ermitteln.

Ein derartiges Calorimeter für Heizwerthbestimmungen in



Fig. 12.

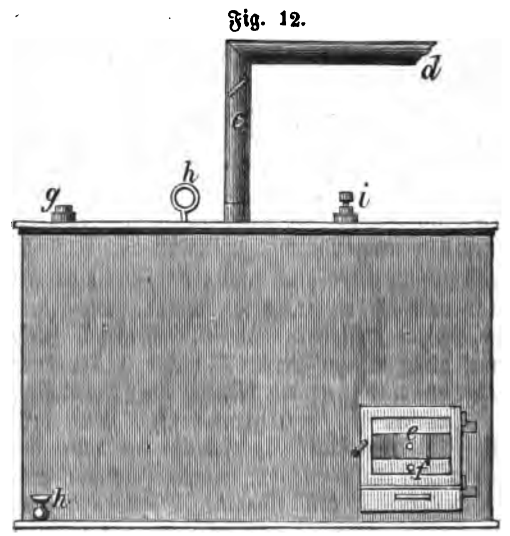
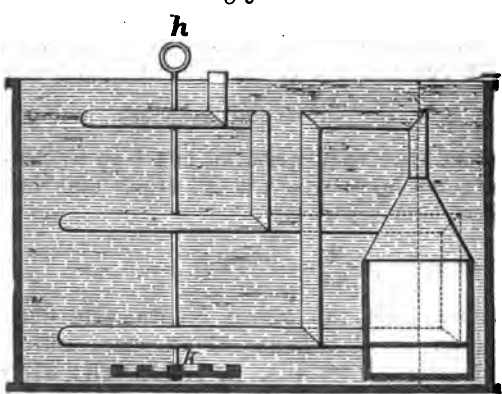


Fig. 13.

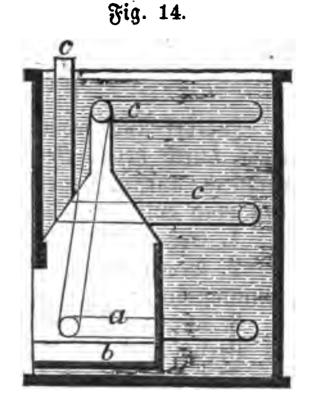


ziemlich großem Maßstabe ist das folgende in Fig. 12 bis 15 abgebildete.

In der in Fig. 12 ersichtlichen Vorderansicht ist g h i ein aus gut verzinntem Bleche angefertigter Wasserkasten, der etwa 100 Liter faßt und bis oben gefüllt ist. Der Hahn h dient zum Ablassen des Wassers, während die Heizthüre e mit dem Schieber zum Verbrennungsraume führt. Die Oeffnung f dient zum Ansetzen eines Blasebalges. Oben ist der Kasten mit einem Deckel geschlossen, welcher 4 Oeffnungen besitzt: eine für das Rauchrohr c d, eine zweite, i, zum Einsenken eines Thermometers, eine dritte zur Handhabung eines Rührers h (der übrigens in Fig. 13 deutlicher ersichtlich ist) und die Oeffnung g zum Einfüllen von Wasser. Die beiden Schnitte Fig. 13 und 14 sowie die Figur 15 lassen

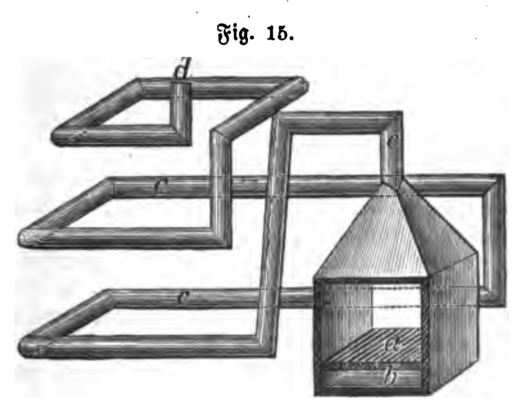
den Feuerraum a b und den (im Ganzen 6 *m* langen) Canal c für die Verbrennungsproducte erkennen.

Fig. 14.



Die Bestimmung wird in folgender Art ausgeführt: der Kasten wird beinahe ganz mit Wasser gefüllt, dieses durch Auf- und Abwärtsbewegen des unten rostartig gestalteten Rührers gemischt, und seine Temperatur mittelst des Thermometers i abgelesen. Nun wird das gewogene Brennmaterial eingetragen, entzündet, die Thüre e und der Schieber geschlossen und durch f mittelst eines Blasebalges Luft eingeblasen. Während der Verbrennung wird die Wassermasse öfters umgerührt, und zur Erhaltung des Feuers von Zeit zu Zeit Brennmateriale (natürlich vorher gewogenes) nachgelegt. Nach beendigter Verbrennung wird die Temperatur des Wassers abermals gemessen, und auch die Dauer des Versuches notirt.

Fig. 15.



Nach dem Erkalten werden die unverbrannten Rückstände durch Absieben von der Asche getrennt und ihr Gewicht von dem des verheizten Brennmateriales abgezogen.

Ist das Calorimeter mit q *kg* Wasser von t^0 gefüllt, wurden P *kg* Brennstoff verheizt und P_1 *kg* davon unverbrannt gefunden, und hatte das Wasser nach der Verbrennung die

Temperatur T° angenommen, so ist der absolute Heizwerth des Brennstoffes

$$p = \frac{q\,(T - t)}{P - P_1} \text{ Calorien.}$$

Hierbei sind jedoch drei Umstände nicht in Betracht gezogen, durch deren Vernachlässigung der Heizwerth ganz beträchtlich unrichtig gefunden würde. Um dies zu vermeiden, muß man entsprechende Correcturen anbringen, nämlich:

1. wegen der Wärmeabsorption der Masse des Instrumentes;
2. wegen der Erwärmung der eingeführten kalten Verbrennungsluft;
3. wegen der Wärmeverluste, welche der Apparat während des Versuches durch Leitung und Strahlung erleidet.

Die Correcturen bezüglich der beiden letzten Punkte sind bei dem beschriebenen Apparate so schwierig zu ermitteln, daß man davon ganz absieht. Dasselbe gilt auch von der Ermittlung jener Wärmemenge, welche die Verbrennungsgase dem Calorimeter entführen. Alle diese drei Vernachlässigungen bewirken Fehler in derselben Richtung (eine Verringerung des gefundenen Heizwerthes) und beeinträchtigen somit die Genauigkeit der erhaltenen Resultate ganz erheblich.

Um den Verlust durch Wärmeleitung und Strahlung zu verringern, kann man übrigens den Blechkasten in einen hölzernen Kasten einschließen.

Die Correction bezüglich des Punktes (1) bewerkstelligt man durch Ermittlung des „Wasserwerthes" des Instrumentes. Man erhält denselben, indem man das Gewicht des (trockenen) Calorimeters mit dem specifischen Gewichte des Metalles, aus welchem es gefertigt ist, multiplicirt. Dieser „Wasserwerth" des Calorimeters wird zu dem Gewichte seines Wasserinhaltes hinzuaddirt, die Summe mit der erzielten Temperaturerhöhung multiplicirt und durch das Gewicht des verbrannten Heizmateriales dividirt.

Würde z. B. das aus Eisenblech hergestellte Calorimeter (specifische Wärme = 0·11) 10 *kg* wiegen und mit 90 *kg* Wasser gefüllt sein; wären bei dem Versuche 0·4 *kg* an Brennmateriale verbraucht worden und hierbei das Wasser im Calorimeter von 17° C. auf 37° C. (also um 20° C.) erwärm worden, so hätte man

$$10 \times 0{\cdot}11 + 90 = 91{\cdot}1 \; kg$$

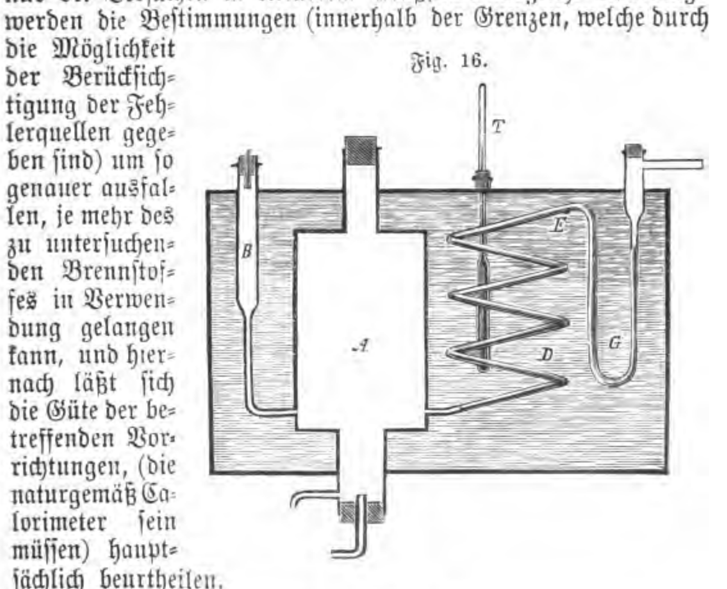
Wasserwerth des trockenen Calorimeters — Wasserinhalt — Wasserwerth des gefüllten Calorimeters

$$p = \frac{91{\cdot}1 \times 20}{0{\cdot}4} = \frac{1824}{0{\cdot}4} = 4555 \text{ Calorien}$$

Dieser Apparat veranlaßt wie alle im großen Maßstabe ausgeführten Brennwerthbestimmungen — außer den schon erwähnten noch eine Reihe anderer Fehler, wie z. B. durch die Schwierigkeit — um nicht zu sagen Unmöglichkeit, eine vollständige und rauchlose Verbrennung zu erzielen ꝛc.

Um wirklich richtige Resultate zu erlangen, was auch von der Praxis nach Möglichkeit angestrebt werden sollte, (da man ja nur dann, wenn der Heizwerth des Brennmateriales genau bekannt ist, die verschiedenen Arten der Wärmeverluste mit Sicherheit ermitteln kann, worin ja, wie schon in der Einleitung gesagt, der Hauptnutzen der Heizversuche zu suchen ist) müssen alle Fehlerquellen des Versuches berücksichtigt werden, und dies ist nur bei Versuchen in kleinerem Maßstabe möglich. Allerdings werden die Bestimmungen (innerhalb der Grenzen, welche durch die Möglichkeit der Berücksichtigung der Fehlerquellen gegeben sind) um so genauer ausfallen, je mehr des zu untersuchenden Brennstoffes in Verwendung gelangen kann, und hiernach läßt sich die Güte der betreffenden Vorrichtungen, (die naturgemäß Calorimeter sein müssen) hauptsächlich beurtheilen.

Fig. 16.

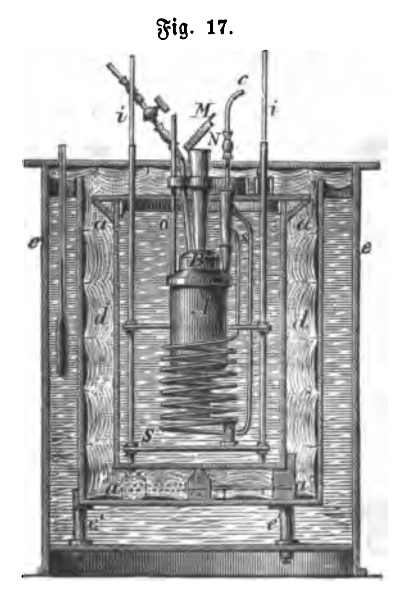




Eines der ältesten Verbrennungscalorimeter ist das von Dulong Fig. 16. Die Verbrennung der zu untersuchenden Körper vollzieht sich in der Verbrennungskammer A, welche in einem größeren mit Wasser gefüllten Kasten placirt ist. Der zur Verbrennung erforderliche Sauerstoff (die Verbrennung erfolgt nämlich mit reinem Sauerstoff), wird durch das nahe am Boden der Verbrennungskammer mündende Rohr B eingeführt, während die gasförmigen Verbrennungsproducte durch das Schlangenrohr DEG entweichen, um so möglichst viel Wärme an das Calorimeter abzugeben. Das Thermometer T dient zur Messung der Temperaturerhöhung. Flüssigkeiten werden mittelst einiger Baumwollfäden, die als Dochte functionirend in eine die Flüssigkeit enthaltende Röhre tauchen, verbrannt, während feste Stoffe nach Dulong in Pulverform mit einer indifferenten Substanz gemischt (um das Zusammenbacken zu verhindern) in einer kupfernen Kapsel zur Verbrennung gelangen.

Um den Einfluß der Strahlung zu vermindern, benutzte Dulong den Rumford'schen Kunstgriff, daß er das Calorimeter beim Beginne des Versuches ungefähr ebenso weit unter die Temperatur der Umgebung erkalten ließ, als es am Schlusse desselben wärmer war wie letztere. Leider sind weitere Details über diese Versuche nicht bekannt.

Fig. 17.



Diesem ziemlich ähnlich ist das Calorimeter von Favre und Silbermann Fig. 17, das Wüllner wie folgt beschreibt:

Die wesentlichsten Theile desselben sind wieder die Verbrennungskammer und das Calorimeter. Die Verbrennungskam-

mer A besteht aus einem Gefäße aus dünnem, vergoldetem Kupferblech. Zur Einführung des Sauerstoffes in dieselbe diente das Rohr O, welches mit einem unter dem Drucke einer Atmosphäre mit Sauerstoff gefüllten Gasometer in Verbindung stand. In einzelnen Fällen diente auch das durch den Deckel schräg in die Kammer eintretende Rohr B zur Zuführung des Sauerstoffes, welcher dann direct auf den zu verbrennenden Körper strömte; sonst diente das letztere Rohr zur Einführung der zu verbrennenden Gase. Bei der Verbrennung der leicht brennbaren flüssigen und festen Körper war es verschlossen. Die gasförmigen Verbrennungsproducte entweichen durch das Schlangenrohr sSc; entstehen derartige nicht, so wird dieses Rohr bei c luftdicht verschlossen.

Durch den Deckel reicht in die Verbrennungskammer ferner das oben mit einer dicken Glasplatte versehene Rohr N A. Auf dasselbe ist oben ein Spiegel M gesetzt, dessen Einfallsloth nach unten gegen die Verticale geneigt ist, so daß man von der Seite her den Gang der Verbrennung beobachten und ihn dann nach Bedürfniß regeln kann.

Dieser ganze Apparat ist mit drei feinen, in der Zeichnung fortgelassenen Stangen an dem Deckel des Calorimeters aa befestigt, so daß er, bis auf die erwähnten Röhren, welche den Deckel des Calorimeters durchsetzen, ganz unter Wasser taucht. Das eigentliche Calorimeter aa ist ein Kupfercylinder, 2 Decimeter hoch und 12 *cm* im Durchmesser. Es ist zur Verminderung des Emissionsvermögens auswärts versilbert und polirt. Dasselbe ist mit einem ebenfalls versilberten Deckel von Kupfer bedeckt, welcher die nöthigen Oeffnungen hat, um ein Thermometer einzusetzen, ferner um die Stangen i i eines Rührers hindurch zu lassen und schließlich eine große Oeffnung in der Mitte, um die Röhrenleitungen zur Verbrennungskammer austreten zu lassen.

Das Calorimeter aa steht auf 4 Korkfüßen in einem zweiten, weiteren Cylinder ebenfalls von Kupfer, so daß der Zwischenraum der Cylinderflächen 2 *cm*, und der beiden Böden 2·5 *cm* beträgt. Dieser Zwischenraum ist mit einem Schwanenpelz, die Daunenseite nach dem Calorimeter hingewandt, ausgefüllt, welche so an dem äußeren Cylinder befestigt ist, daß die Daunen die Calorimeterwand nicht berühren.

Der Cylinder dd steht schließlich in einem dritten Gefäße ee, so daß der Zwischenraum zwischen beiden Gefäßen 2·5 *cm*, am Boden 3·5 *cm* beträgt. Dieser Zwischenraum ist mit Wasser von der Temperatur der Umgebung gefüllt.

Durch diese Vorsichtsmaßregeln war die Strahlung gegen die Umgebung so sehr vermindert, daß die Abkühlung in einer Minute, wenn die Temperaturdifferenz 1° C. war, nur 0·002° betrug, wie aus ausgedehnten Versuchsreihen, welche zur Untersuchung der Erkaltung angestellt waren, sich ergab. Zugleich zeigte sich, daß, da die Temperaturdifferenz zwischen dem Calorimeter und dem Wasser in dem Gefäße e niemals 10° erreichte, die Abkühlung stets der Temperaturdifferenz proportional gesetzt werden konnte. Ist daher in einer Zeit von *m* Minuten die mittlere Temperaturdifferenz des Calorimeters und der Umgebung t°, so ist die Erwärmung oder Abkühlung des Calorimeters in dieser Zeit

$$\triangle t = m . 0{\cdot}002\ t.$$

Favre und Silbermann wandten nun meist bei ihren Versuchen die Rumford'sche Compensationsmethode an und theilten dann die ganze Versuchsdauer in mehrere Perioden. Indem der Gang des Thermometers stetig beobachtet wurde, erhielt man dann die mittlere Temperaturdifferenz t für jede dieser einzelnen Perioden, und aus dieser wurde dann für jede Periode der Werth der Correction $\triangle t$ berechnet.

Zur Verbrennung der Gase wird das Gas durch die Röhre B eingeleitet, indem das Zuleitungsrohr durch dasselbe in die Kammer eingeführt wird. Das Gas wird außerhalb entzündet und dann rasch das Rohr eingeschoben. Die Menge des verbrannten Gases wird gewöhnlich aus der Menge der entstandenen Verbrennungsproducte, meist Kohlensäure und Wasser, bestimmt. Der Wasserdampf condensirt sich entweder in der Verbrennungskammer oder in der kleinen in dem Schlangenrohre befindlichen Kammer k. Die Kohlensäure wird in einem, mit dem Schlangenrohre verbundenen Kali-Apparate absorbirt. Zur Verbrennung der flüssigen Körper diente eine Lampe L Fig. 18, welche an dem Deckel der Verbrennungskammer mit zwei Platindrähten befestigt war. Dieselbe bestand aus einem Gefäße von Kupfer, welches ungefähr zwei Cubikcentimeter faßte, aus welchem der Docht hervorragte und bis

fast zu seinem Ende von einem Ringe umschlossen war. Die Lampe wurde vor dem Einsetzen entzündet und dann sehr schnell eingesetzt. Die festen Fette wurden in G, Fig 18, verbrannt, deren Einrichtung wohl keiner weiteren Erläuterung bedarf.

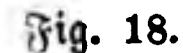
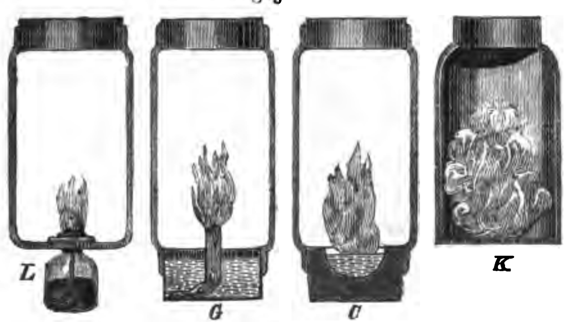


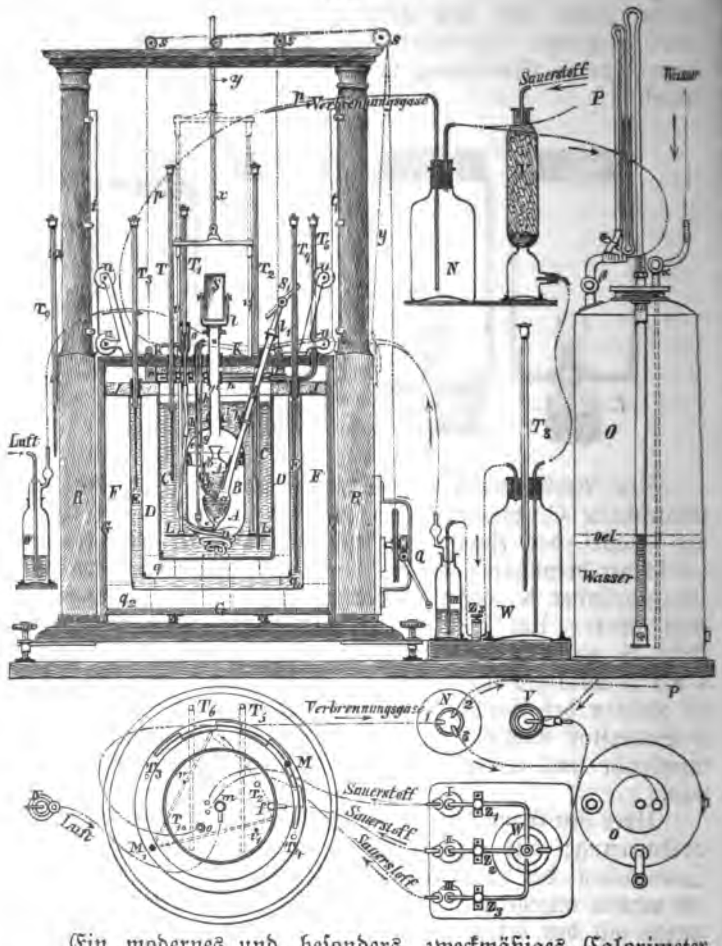
Fig. 18.



Zur Verbrennung des Schwefels diente die kleine Porzellanschalle C, welche ebenso wie die Lampe L und G an den Deckel der Kammer befestigt war. Zur Verbrennung der schwer brennbaren Körper, wie der Kohlen, diente der kleine Platincylinder K, dessen Boden durchlöchert war, und so als Rost diente. Um dieselben zu entzünden, wurde durch das Rohr B, nachdem die Kammer mit Sauerstoff gefüllt war, ein 4 bis 5 Milligramme schweres Stück brennender Kohle auf die Kohlen des Cylinders K geworfen, und dann sofort durch B Sauerstoff eingeblasen, indem das, in B mündende Zuleitungsrohr mit einem Gasometer voll Sauerstoff verbunden war.

Über den Gang der Versuche bedarf es wohl keiner weiteren Erläuterung; aus der, während der Verbrennung bestimmter Quantitäten der sämmtlichen Substanzen beobachteten und in der vorhin angegebenen Weise corrigirten Temperaturerhöhung wurde mit den bekannten Wasserwerthen des Calorimeters die entwickelte Wärmemenge in gewöhnlicher Weise berechnet. Als Einheit der Wärmemenge wurde von Favre und Silbermann jene genommen, welche ein Gramm Wasser zwischen 20° und 25° C. um 1° C. erwärmt.

Fig. 19.



Ein modernes und besonders zweckmäßiges Calorimeter zur Bestimmung des absoluten Heizwerthes von Brennstoffen ist das von F. Schwackhöfer construirte und in Fig. 19 ersichtliche und zwar hauptsächlich deshalb, weil es bei der Möglichkeit, die Versuchsfehler auf ein Minimum zu reduciren,

gestattet, eine ziemlich beträchtliche Menge des Brennstoffes (bis zu 10 *g*) zur Verbrennung zu bringen, was bei keinem andern in gleichem Maße der Fall ist.

Wir wollen dasselbe in möglichster Kürze beschreiben und müssen bezüglich aller Details auf die Originalabhandlung verweisen.*)

Zur Bestimmung des Wasserwerthes des Calorimeters füllt man zunächst das Gefäß CC mit Wasser von genau gemessener Temperatur (ca. 30° C.) senkt durch m in die Verbrennungskammer AA_1 ein empfindliches Thermometer und wartet (unter öfterem Hin- und Herbewegen des Mischers LL), bis die beiden Thermometer T_1 und T_2 untereinander wie auch mit dem in AA_1 befindlichen gleiche Temperatur zeigen. Diese Beobachtungen werden notirt. Nun macht man noch weitere Bestimmungen in gleicher Weise, nur mit dem Unterschiede, daß man CC zunächst zur Hälfte mit Wasser von der Lufttemperatur füllt und dann Wasser von circa 45° nachgießt. Aus dieser Angabe berechnet sich der Wasserwerth das Calorimeters. Nun bereitet man sich Zuckerkohle, indem man Hut-Melis in nußgroße Stücke zerschlägt und in einem hessischen Tiegel bei gelinder Hitze verkohlt, die stark aufgeblähte kohlige Masse in einem zweiten bedeckten Tiegel im Holzkohlenfeuer etwa zwei Stunden lang der Weißglühhitze aussetzt; nach dem Auskühlen in Reiskorn große Stücke zerschlägt, und das feine Pulver durch Absieben entfernt. Letzteres wird bei einer neuerlichen Verkohlung dem schmelzenden Zucker beigemengt. Von der Zuckerkohle wird die Elementaranalyse und calorimetrische Verbrennung vorgenommen. Schwackhöfer fand die Zusammensetzung derselben im Mittel zu 97·27 % C, 0·78 % H, 1·41 % chemisch gebundenes Wasser und 0·54 % Asche, woraus sich der absolute Heizeffect nach der modificirten Dulong'schen Formel zu.

$$\frac{8080 \times 97{\cdot}27 + 34462 \times 0{\cdot}78 - 620 \times 1{\cdot}41}{100} = 8120 \text{ Cal}$$

berechnet.**)

*) F. Schwackhöfer, „calorimetrische Wärmebestimmung der Brennmaterialien" Ztschft. für analytische Chemie 1884. 4. Heft, Ztschft der Dampfkesseluntersuchungs- und Versicherungs-Gesellschaft a. G. 1884 Nr. 6 und 7.

**) 620 ist die zur Erwärmung der Gewichtseinheit Wasser von der Beobachtungstemperatur (17°C.) auf 100° und zur Verdampfung desselben nöthige Wärmemenge nach Régnault.



Die Verbrennung im Calorimeter ergab im Mittel 7982 Calorien.

Nachdem das Calorimetergefäß CC mit einer genau gemessenen Wassermenge von Lufttemperatur gefüllt ist, werden für jede Verbrennung von der zu prüfenden feinkörnigen Mineralkohle in der Regel 5 bis 6 und von der Zuckerkohle 2 bis 4 Gramm eingewogen. Das Kohlenquantum muß so gewählt werden, daß die Temperaturerhöhung des Calorimeterwassers von 10° C. nicht viel abweicht. Die Resultate fallen nur dann genau aus, wenn bei allen Versuchen sowohl die Verbrennungsdauer, als auch die Temperatursteigerung annähernd die gleiche ist.

Es muß daher bei einer jeden Kohle ein Vorversuch gemacht werden, um die richtigen Verhältnisse zu finden. Liegt die Elementaranalyse der betreffenden Kohle vor (was in der Regel der Fall ist), so läßt sich schon daraus die Menge der Mineralkohle und Zuckerkohle, welche für eine Verbrennung nothwendig ist, mit hinlänglicher Genauigkeit berechnen. Die Verbrennungsdauer beträgt 55 bis 60 Minuten. Die Temperatursteigerung hat man durch die Anwendung einer größeren oder geringeren Menge Zuckerkohle in der Gewalt.

Die Mineralkohle wird in der Platinkammer A abgewogen. Bei vorsichtiger Gebahrung fällt von der fein gepulverten Mineralkohle keine Spur durch das Platinsieb e. Ist das Sieb nicht fein genug gelocht, so läßt sich dadurch abhelfen, daß man auf dasselbe etwas gröbere, abgesiebte Zuckerkohle ausbreitet, abwägt, und dann erst das Mineralkohlenpulver aufschüttet. Die Platinkammer A dient zur Aufnahme der Zuckerkohle.

Nach dem Abwägen wird die Platinkammer zusammengesetzt, mit Hilfe der Muffen im Mantelgefäße B befestigt, und letzteres verschraubt. Man wartet 15 bis 30 Minuten, bis das Gefäß B, welches sich durch das Anfassen mit den Händen etwas erwärmt hat, wieder abgekühlt ist, läßt sodann die Deckplatte K herab, fügt die Thermometer T_1, T_2 und T_7 ein, stellt die erforderlichen Schlauchverbindungen her und setzt die beiden zur Beobachtung des Verbrennungsprocesses dienenden Spiegel S und S_1 auf.

Man wartet nun so lange, bis die Temperatur constant

geworden ist, liest sodann alle Thermometer ab und beginnt mit der Verbrennung.

Zu diesem Ende läßt man aus einem (in der Zeichnung nicht dargestellten) Gasometer Sauerstoff (nachdem er den mit Natronkalk gefüllten Trockenthurm V, die als Medialen wirkende Flasche W*), von wo er sich in drei Zweigströme theilt und die drei mit concentrirter Schwefelsäure gefüllten Waschflaschen I, II und III passirt) in die Mitte der Verbrennungskammer eintreten, hebt die Verschlußkapsel mit dem Spiegel S ab, bringt durch Einfallenlassen eines kleinen, glimmenden Holzsplitters durch das Rohr m die Zuckerkohle in A zur Entzündung, und setzt den Spiegel wieder auf. Gleich darauf läßt man den großen Aspirator O in Wirksamkeit treten, verschließt die Flasche N und setzt nach wenigen Minuten auch den kleinen (in der Figur nicht abgebildeten) Aspirator P in Action.

Der Wasserausfluß wird so regulirt, daß in O ungefähr $^5/_6$ und in P $^1/_6$ des ganzen Gasquantums aufgesammelt wird. Das Gesammt-Gasvolumen beträgt bei jeder Verbrennung etwa 25 bis 30 Liter.

Das Mantelgefäß B steht mittelst der mit concentrirter Schwefelsäure gefüllten Waschflasche IV mit der äußeren Luft in Verbindung, damit in der Verbrennungskammer immer normaler Druck herrsche. Dies ist nothwendig, da bei der geringsten Druckdifferenz sich Rauch bildet. D ist mit Eiderdunen, E mit Wasser und F mit Flaumen gefüllt; außerdem ist der äußere Kasten noch mit Filz bekleidet.

Die Gluth zieht sich in der Zuckerkohlenschicht allmälig nach abwärts, verlischt oben und brennt nur unten auf dem Siebe d fort. Sobald die Gluth unten angelangt ist (was sich an dem Lichtreflexe in dem Rohre f wahrnehmen läßt) erfolgt auch die Entzündung der Mineralkohle in der unteren Kammer von selbst, indem kleine, glühende Zuckerkohlentheilchen durch das groß gelochte Sieb d auf die Mineralkohle fallen. (Manchmal dauert es einige Zeit, bis diese Entzündung stattfindet; um nicht zu lange warten zu müssen, kann man in

*) Hier wird auch die Temperatur des Sauerstoffes mittelst des Thermometer T_8 gemessen.



diesem Falle die Mineralkohle mittelst eines glimmenden Holzsplitters anzünden, den man durch das Beobachtungsrohr f einfallen läßt.) Nachdem die Mineralkohle an einer Stelle glüht, verstärkt man den Sauerstoffstrom durch f und läßt auch durch das Rohr g Sauerstoff eintreten. Die Gluth verbreitet sich alsbald über die ganze Oberfläche der Mineralkohle und die Verbrennung dieser letzteren erfolgt allmälig von oben nach unten. Gegen das Ende der Verbrennung wird die Sauerstoffzuleitung durch g abgesperrt und jene durch e dafür geöffnet.

Bei regelrechtem Gange muß die Kohle ruhig fortbrennen; es darf keine Spur von Rauch in der Flasche N zum Vorschein kommen (was lediglich von der richtigen Regulirung der beiden Sauerstoffströme abhängt), und muß sowohl die Mineralkohle, als auch die Zuckerkohle vollständig verbrennen. Selbst bei ganz correcter Füllung und Zusammenstellung des Apparates gehört aber immer noch eine gewisse Uebung dazu, die Verbrennung tadellos zu Ende zu führen.

Während der Verbrennung wird in regelmäßigen Zeitintervallen (immer nach Ablauf von je 2 Liter aus dem großen Aspirator) das Thermometer T_7 abgelesen (alle Temperaturablesungen erfolgen mit Loupe auf 0·01° C. genau) und sodann der Mischer LL einige Male auf und ab bewegt.

Ist die Kohle auf beiden Feuerherden ausgebrannt, so werden die Sauerstoffzuleitungen abgesperrt und die beiden Aspiratoren außer Thätigkeit gesetzt. Man mischt jetzt so lange, bis beide inneren Thermometer T_1 und T_2 gleiche Temperatur zeigen, wartet, bis keine Temperaturerhöhung mehr stattfindet und liest alsdann alle Thermometer (einschließlich T_9 für die Lufttemperatur und T_{10} für die Temperatur des Gases im großen Aspirator) der Reihe nach ab. Das Temperaturmaximum im Gefäße C bleibt durch etwa 5 Minuten vollkommen constant, so daß sich dieser Punkt mit voller Sicherheit constatiren läßt. Das Sinken der Temperatur geht auch später, so lange das Calorimeter noch geschlossen ist, nur sehr langsam vor sich.

Nach der Ablesung werden die Thermometer T_1 und T_2 entfernt und die beiden Spiegel abgenommen. Die Deckplatte

wird mittelst des Getriebes langsam gehoben, der Holzkübel zurückgeschoben, das Mantelgefäß und die Platinkammer demontirt.

Das Gefäß C wird mittelst eines Hebers entleert, trocken ausgewischt, und ist sodann zur neuerlichen Beschickung mit dem Normalquantum Wasser von der Lufttemperatur bereit. Desgleichen wird das Mantelgefäß B innen und außen abgetrocknet, das Schlangenrohr ausgeblasen, und der Mischer, sowie die Unterseite des Gefäßes H von dem anhaftenden Condensationswasser befreit.

Nachdem die Gasvolumen in den beiden Aspiratoren abgelesen sind, wird O durch den Hahn a soweit mit Wasser gefüllt, daß bei β Oel zum Vorschein kommt. Das im kleinen Aspirator P befindliche Gas wird analysirt. Bei richtiger Regulirung der Sauerstoffzufuhr bleibt der Kohlenoxydgehalt des Gasgemisches in der Regel unter 0·5%. Finden sich andere brennbare Gase auch nur in Spuren, so wird die betreffende calorimetrische Bestimmung als unverläßlich verworfen.

Rechnungsbeispiel.

Es wurden zum Versuche 5·016 Gramm Wilczek-Ostrauer Steinkohle und 2·750 Gramm Zuckerkohle verwendet.

Beobachtungsresultate.

Temperaturablesungen am Calorimeter						Mittlere Temperaturen in Graden Celsius
Thermometer		vor	nach	Differenz	Mittel	
Äußeres Gefäß E	T_3	18·01	18·20	0·19	0·20	des zuströmenden Sauerstoffes 17·9 (T_8)
	T_4	18·02	18·23	0·21		der zuströmenden Luft 18·0 (T_9)
Inneres Gefäß C	T_1	18·05	28·54	10·49	10·49	des abströmenden Gases 22·1 (T_7)
	T_2	18·05	28·54	10·49		des Gases im Aspirator 18·0 (T_{10})
Oberes Gefäß H	T_5	18·04	21·80	3·76	3·78	Barometerstand 750 *mm*; Wasser-Auslauf aus O = 23·5, „ P = 4·5
	T_6	18·04	21·84	3·80		Summe 28 Liter.



Reductionsfactor (zur Reduction der Gasvolumen von 18° C. und 750 *mm* Quecksilberdruck auf das Volum bei 0° C. und 760 *mm* Druck.)

$$1 + 0{\cdot}00366 \times 18 \times \frac{760}{750} = 1{\cdot}07$$

Gasanalyse			Berechnung der Wärmecapacität des abströmenden Gases			
	Volum %	Liter ×	Litergewicht bei 18° C. und 750 *mm*	= Gramm ×	specifischer Wärme	= Wärmecapacität
Kohlenoxyd	0·4	0·11 ×	$\frac{1{\cdot}2515}{1{\cdot}07}$	= 0·13 ×	0·2425	= 0·03
Kohlensäure	51·3	14·36 ×	$\frac{1{\cdot}9666}{1{\cdot}07}$	= 26·42 ×	0·2025	= 5·35
Sauerstoff	12·6	3·53 ×	$\frac{1{\cdot}2936}{1{\cdot}07}$	= 4·27 ×	0·2175	= 0·93
Stickstoff	33·5	9·38 ×	$\frac{1{\cdot}2566}{1{\cdot}07}$	= 10·97 ×	0·2438	= 0·67
Wasserdampf*)	2·2	0·62 ×	$\frac{0{\cdot}8064}{1{\cdot}07}$	= 0·46 ×	0·4805	= 0·22
Summe	100·0	28·00				9·20

Wärmecapacität × ° C. = Calorien
9·20 × 22·1 = 203·3

Durch die abziehenden Gase werden demnach 203·3 Calorien entführt.

Berechnung der zugeströmten Luft und des freien Sauerstoffes.

Im abströmenden Gase sind 10·97 Gramm Stickstoff enthalten, entsprechend $\frac{10{\cdot}97 \times 100}{77} = 14{\cdot}25$ Gramm atmosphärischer Luft.

*) Das Gas ist bei der Abströmung mit Wasserdampf gesättigt. Die Menge Wasserdampf in Volumprocenten, v, ergibt sich aus der Formel:

$$v = \frac{f}{0{\cdot}01b}$$

worin f den Dunstdruck in Millimetern und b den Barometerstand bedeutet.

Sauerstoff im Kohlenoxyd $\frac{0\cdot13 \times 4}{7}$ = 0·07

" in der Kohlensäure $\frac{26\cdot42 \times 8}{11}$ = 19·21

Sauerstoff zur Verbrennung des Wasserstoffes in der Mineral- und Zuckerkohle

$\frac{3\cdot10 \times 5 + 0\cdot78 \times 2\cdot8}{100} \times 8 =$ . . . 1·41

Sauerstoff zur Verbrennung des Schwefels in der Mineralkohle $\frac{0\cdot39 \times 5}{100}$ . . . . 0·02

Sauerstoff, ungebunden . . . . 4·27

Zusammen 24·98

Sauerstoff in der zugeströmten Luft (14·25—10·97) 3·28

Sauerstoff als solcher zugeströmt . . . . 21·70

Durch die zugeströmten Gase (Luft und Sauerstoff) wurden zugeführt:

	Gramme	× sp. Wärme	× ° C.	=	Calorien.
Luft	14·25	× 0·238	× 18·0	=	61·0
Sauerstoff	21·70	× 0·218	× 17·9	=	84·7
					145·7

Zusammenstellung der Resultate.

	Wasserwerth	× Temperatur-Zunahme	=	Calorien
Wärmeabgabe in das innere Gefäß C	5491	× 10·49	=	57600·6
Wärmeabgabe in das obere Gefäß H	460	× 3·78	=	1738·8
Wärmeabgabe in das äußere Gefäß E	5115	× 0·20	=	1023·0
Wärmeverlust durch Bildung von Kohlenoxyd	2403	× 0·13	=	312·4
Wärmeverlust durch das abziehende Gas	(203·1	— 145·7)	=	57·6
		Zusammen		60732·4
durch die Zuckerkohle producirte Calorien (7982 × 2·75)			=	21950·5
durch die Mineralkohle producirte Calorien . .			=	38781·9

$$\frac{38781 \cdot 9}{5 \cdot 016} = 7732 \text{ Calorien.}$$

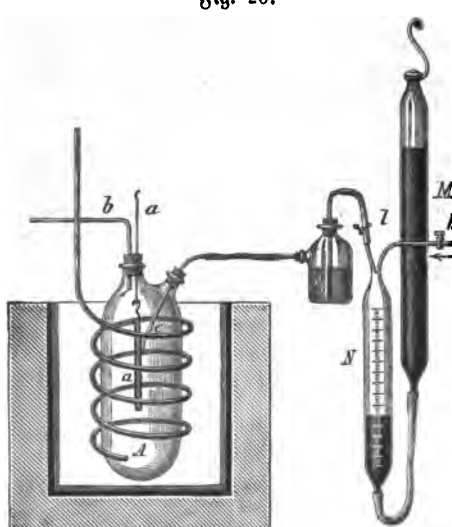
Bei der zweiten Bestimmung wurden 7787 Calorien gefunden.

Daher Mittel = 7758 Calorien.

Nach der Dulong'schen Formel berechnet sich die Verbrennungswärme aus der Elementaranalyse dieser Kohle mit 7295 Calorien.

Ein im Principe mit den vorigen ähnliches Calorimeter hat Alexejew in den Berichten der deutsch. chem. Gesellschaft (1886, Bd. XIX, p. 1560) beschrieben. Es ist in Fig. 20 abgebildet.

Fig. 20.



Um die Schwierigkeiten, welche bei der Verbrennung der Steinkohlen in der Beobachtung des Verbrennungsprocesses, im Anzünden der Kohle und in der gleichmäßigen vollständigen Verbrennung derselben liegen, möglichst zu beheben, hat derselben die undurchsichtige metallene Verbrennungskammer durch eine gläserne ersetzt. Ueberdies bringt er die Kohlen statt in Pulverform in kleinen Körnern in das Calorimeter, indem er dieselben zunächst in eine Platindrahtnetz-Hülse und darüber Platinschwamm legt und den Apparat einführt. Die Entzündung der Kohle erfolgt mittelst eines Wasserstoffstrahles, welcher auf den Platinschwamm trifft.

Die Verbrennungskammer besteht aus Glas mit einem gläsernen Schlangenrohre zur Ableitung der Verbrennungsproducte. Durch den Kork, mit welchem die centrale Oeffnung der-

selben verschlossen ist, reicht ein Glasstab a, an welchem die oben erwähnte Platindrahtnetzhülse A befestigt ist. Durch eine zweite Bohrung desselben Korkes wird mittelst der Glasröhre b die Zufuhr des zur Verbrennung erforderlichen Sauerstoffes bewerkstelligt.

Die seitliche Tubulatur endlich ist ebenfalls mit einem Korke verschlossen, in dessen Bohrung das dünne Glasrohr c, an dessen unterem Ende eine Platinspitze angebracht ist, mittelst welchem aus dem Wasserstoffgasometer N Wasserstoffgas zugeführt werden kann. Um die Kohle anzuzünden, öffnet man den Hahn l des Gasometers und richtet die Spitze der genannten Röhre auf den Platinschwamm. Das hierdurch entzündete Wasserstoffgas setzt die Kohle in Brand. Ist dies gelungen, so schließt man den Hahn und liest das verbrauchte Wasserstoffvolum ab, wobei natürlich das Wasser in beiden Gefäßen N und M in's gleiche Niveau gebracht werden muß.

Sollte die Kohle wieder verlöschen, so läßt sie sich leicht auf dieselbe Weise wieder anzünden.

Das Wasserstoffgasometer wird mittelst des Hahnes h und eines constanten Wasserstoffentwicklungsapparates gefüllt.

Um die Verbrennungswärme des zum Anzünden der Kohle verwendeten Wasserstoffes zu ermitteln, wird das verbrauchte Volum desselben in Gramme umgerechnet und mit 34000 multiplicirt. Diese Zahl muß natürlich von den aus den Calorimeterbeobachtungen abgeleiteten in Abzug gebracht werden. Gewöhnlich schwankt sein Volum zwischen 20 und 40 cm^3, was 1 bis 1·5 % der gesammten beobachteten Wärme entspricht.

Das Calorimeter ist das gewöhnliche Berthelot'sche aus dünnem Messing; es befindet sich in einem polirten Messingcylinder, welcher wieder in dem doppelwandigen Gefäße mit Wasser steht, genau so, wie es Berthelot in seiner mecanique chimique beschreibt. Das Calorimeter faßt 2500 cm^3, eine Quantität, welche bei Anwendung eines helikoïdalen Rührers und Schlangenrohres der Verbrennungskammer vollständig genügt, um die gesammte in der Kammer erzeugte Wärme auf das Calorimeter zu übertragen. Die Temperatur wird von einem Bodin'schen Thermometer, in $^1/_{50}{}^0$ eingetheilt, gemessen. Um den Parallaxfehler zu vermeiden, geschieht das Ablesen durch eine Loupe, was die Temperatur bis zu 0·005° zu be-

stimmen gestattet. Die Erwärmung des Calorimeters schwankt zwischen 1·5° und 2·0°, wodurch die Correction wegen der Abkühlung nie mehr als 0·02° beträgt.

Die Temperaturbestimmung kann man also bis 0·01° genau feststellen, was einem Fehler von höchstens 0·6% der Wärmebestimmung entspricht. Gewöhnlich ist der Fehler nur 0·2%. Ist das Thermometer in $^1/_{20}$° getheilt, so werden die Bedingungen minder günstig, da man nicht mehr als 1000 *cm*³ Wasser nehmen kann, wodurch die Correctionen und zugleich die Fehler bedeutend größer werden. Die Correctionen wegen der Abkühlung werden nach Régnault-Pfaundler in nachstehender Weise ausgeführt, was nach den Versuchen von H. Lugiginin vollständig genügt.

Man theilt die Zeit des ganzen Versuches in drei Perioden, in die Vorperiode, d. i. die Zeit vor Beginn der Verbrennung, welche man wieder in ungefähr 10 Zeitintervalle von etwa $^1/_3$ bis 1 Minute Länge abtheilt, in die zweite oder Hauptperiode, welche vom Ende der ersten Periode beginnt und so lange dauert, bis die gleichen Zeitintervallen entsprechende Zunahme der Calorimetertemperatur constant wird und endlich in die dritte, die Nachperiode, welche ebenso wie die Vorperiode ungefähr 10 Zeitintervalle umfaßt.

Nun berechnet man sich die Temperaturverluste für die mittlere Temperatur der Vorperiode sowie für die mittlere Temperatur der Nachperiode in der Art, daß man die gesammte Temperaturänderung des Calorimeters während der Vor-, respective während der Nachperiode dividirt durch die Anzahl der Zeitintervalle, welche diese Perioden umfassen, mal dem mittleren Ueberschusse der Calorimetertemperatur über die Temperatur der umgebenden Luft. Die so erhaltenen Zahlen repräsentiren die Temperaturverluste per Minute und 1° Temperaturüberschuß des Calorimeters giltig für die mittlere Temperatur Θ und Θ' der Vor- und Nachperiode.

Fig. 21.

Man trägt nun (Fig. 21) diese mittleren Temperaturen Θ und Θ' als Abscissen, die zugehörigen Verluste per Minute als Ordinaten auf und verbindet die Punkte m und m' durch eine gerade Linie. Durch Einzeichnen der mittleren Temperaturen der einzelnen Intervalle der Hauptperiode und Aufsuchen der zugehörigen Ordinaten erhält man die Temperaturverluste für jedes Intervall der Hauptperiode, durch deren Summirung man zu der gesuchten Correction gelangt.

Will man die Correctur durch Rechnung ermitteln, so gelingt dies meist durch folgende Betrachtungen:

Es sei für das n te Intervall der Hauptperiode die mittlere Temperatur $\Theta_n = OP_n$ und der mittlere Temperaturverlust $v_n = m_n\ P_n$, so ist

$$m_n\ P_n = P_n\ p_n + p_n\ m_n = v + p_n\ m_n$$

ferner ist wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke:

$$\frac{p_n\ m_n}{p_n\ m} = \frac{p_1\ m_1}{p_1\ m}$$

oder, wenn wir hier die physikalischen Werthe einsetzen

$$\frac{p_n\ m_n}{\Theta_n - \Theta} = \frac{v_1 - v}{\Theta_1 - \Theta}$$

also

$$p_n\ m_n = \frac{v_1 - v}{\Theta_1 - \Theta}(\Theta_n - \Theta)$$

Mithin ist der Verlust während des n ten Intervalles der Hauptperiode $P_n\ m_n = v_n$ gegeben durch:

$$v_n = v + \frac{v_1 - v}{\Theta_1 - \Theta}(\Theta_n - \Theta)$$

Die Summe aller so berechneten Einzelverluste der Hauptperiode endlich ist die gesuchte Correction der Endtemperatur, nämlich:

$$\Sigma v = v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + \ldots\ldots v_n =$$

$$= n\,v + \frac{v_1 - v}{\Theta_1 - \Theta}(\Theta_1 + \Theta_2 + \ldots\ldots - n\,\Theta)$$

$$= n\,v + \frac{v_1 - v}{\Theta_1 - \Theta}\left[\frac{\Theta_0 + \Theta_n}{2} + \Sigma_1^{n-1}\,\Theta - n\,\Theta\right]$$

Hierin bedeutet $\Sigma_1^{n-1}\,\theta = \theta_1 + \theta_2 + \ldots\ldots \theta_{n-1}$ die Summe aller abgelesenen Calorimetertemperaturen der Hauptperiode mit Ausnahme der ersten und letzten.

Die Platinhülse hat 4 bis 6 *mm* Durchmesser und 4 bis 5 *cm* Höhe. Die Kohle zur Verbrennung wird in Körnern von 2·5 bis 3·5 *mm* angewandt. Das Wasserstoffgasometer ist in Kubikcentimeter getheilt und seine Construction aus der Fig. 20 ersichtlich.

Die einzige Fehlerquelle (die sich übrigens durch Analyse der Verbrennungsgase beheben läßt) besteht darin, daß nicht der ganze Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennt, sondern, daß sich immer eine nachweisbare, wenn auch geringe Menge Kohlenoxyd bildet.

Gattung	C	H	O	N	Hygroskopisch. Wasser	Asche
	%	%	%	%	%	%
Erzh. Albrecht, Ostrauer Steinkohle	74·21	4·19	9·82	0·33	3·22	8·23
Wilczek, " "	77·06	4·50	11·22	0·19	2·91	4·12
Larisch, Karwin " "	73·72	4·25	10·39	0·31	3·96	7·37
Glückshilf, I. Steinkohle, Waldenburg	70·50	3·94	9·28	0·19	1·60	14·49
Jaklowetz-Steinkohle, Niederschlesien	72·59	3·90	10·08	0·20	2·40	10·83
Königshütte-Steinkohle, Preußen	70·38	4·07	11·65	0·59	8·82	4·29
Hermenegilde " Niederschl.	71·02	4·17	11·46	0·18	2·60	10·57
Dombrauer " poln. Ostr.	74·69	4·23	12·42	0·07	3·03	5·56
Ostrauer Nußkohle	73·55	4·54	11·38	0·46	2·44	5·63
Glückshilf, II. Steink., Waldenburg	70·83	3·94	9·22	0·30	1·69	14·02
Michalkowitz " Niederschl.	70·47	3·88	11·13	0·27	3·07	11·18
Morgenstern " Preußen	61·10	3·17	13·93	0·41	9·07	12·32
Carolinen " "	61·42	3·23	13·64	0·24	7·29	14·18
Zuckerfabrik Skrochowitz, Steinkohle C, Provenienz unbekannt	72·08	4·06	11·65	0·42	4·13	7·66
Waterloo Steinkohle, Preußen	69·70	3·74	13·60	0·40	6·28	6·28
Neuroder Wenzeslausgrube, Förderkleinkohle	74·22	4·24	10·38	0·35	3·92	6·89
Leobner Stückkohle, Braunkohle	60·91	4·22	17·99	0·71	9·92	6·25
Bučehrad-Kladnoer Braunkohle	57·27	3·17	11·00	0·21	9·07	19·28
Georg, Steinkohle, Preußen	65·93	3·51	13·69	0·29	7·93	8·65

*) Berechnet nach der Formel $p' = \frac{8080\,C + 34462\,H + 2500\,S}{100}$ Schwefel bedeutet.

**) Ohne Berücksichtigung des hygroskopischen Wassers und des ver-

Die nachfolgende Tabelle, welche eine Zusammenstellung der Zusammensetzung und des auf verschiedene Arten ermittelten Heizeffectes sowie der Bildungswärme einiger Kohlen enthält, dürfte zur Beurtheilung der früher besprochenen Methoden der Heizwerthbestimmung von Nutzen sein und bietet überdies nicht unwichtige Aufschlüsse über verschiedene fossile Brennmaterialsorten. Sie ist zusammengestellt nach Publicationen von F. Schwackhöfer, Dr. Otto Gmelin und Hanns v. Jüptner und durchaus auf die Analysen und directen Heizwerthbestimmungen (in seinem Calorimeter ausgeführt) des ersteren begründet.

Verbrennlicher Schwefel	Direct ermittelter Brennwerth p	Berechneter Brennwerth *) p'	Bildungswärme	Brennwerth berechnet nach d. Formel v. Dulong **) p''	Differenz d. vorigen mit dem direct ermittelten: in Calorien	Differenz d. vorigen mit dem direct ermittelten: in % des berechn. Werthes	Brennw. ber. nach d. Form. v. Dr. Otto Gmelin p'''	Differenz des Vorigen u. d. direct ermitt. in % d. Letzt.
%	Calorien	Calorien	Calorien	Calorien	Calorien	%	Calorien	%
0·71	7443	7458	15	7016	+ 427	+ 6·09	6968	— 6·38
0·39	7758	7787	29	7295	+ 463	+ 6·35	7507	— 3·23
0·50	7368	7399	31	6973	+ 395	+ 5·67	6951	— 5·66
0.63	6955	7070	115	6654	+ 301	+ 4·52	6751	— 2·93
0·35	7044	7218	174	6775	+ 269	+ 3·97	6999	— 0·64
0·44	6920	7100	180	6535	+ 385	+ 5·91	6422	— 7·20
0·21	6992	7181	189	6683	+ 309	+ 4·62	7009	+ 0·24
0·50	7280	7505	225	6959	+ 321	+ 4·61	7204	— 1·05
0·60	7433	7684	251	7098	+ 335	+ 4·51	7413	— 0·27
0·79	6822	7100	278	6685	+ 137	+ 2·05	6784	— 0·56
0·26	6753	7038	285	6552	+ 201	+ 3·07	6750	— 0·05
0·57	5728	6044	316	5430	+ 298	+ 5·49	5745	+ 0·29
0·78	5758	6095	337	5487	+ 271	+ 4·57	5758	0
0·58	6885	7238	353	6720	+ 165	+ 2·46	6908	+ 0·38
0·40	6571	6930	359	6335	+ 236	+ 3·73	6543	— 0·43
1·02	7113	7484	371	7010	+ 103	+ 1·47	6994	— 1.67
0·53	6013	6389	376	5425	— 588	— 9·78	6111	+ 1·63
0·02	5342	5720	378	5246	+ 96	+ 1·83	5188	— 2·87
0·48	6120	6549	429	5947	+ 173	+ 2·91	6103	— 0·28

wobei S den Procentgehalt an verbrennlichem, sogenanntem „schädlichen"

brennlichen Schwefels.

Gattung	C	H	O	N	Hygroskopisch. Wasser	Asche
	%	%	%	%	%	%
Westende, Steinkohle, Preußen	71·02	3·89	12·78	0·42	4·60	7·29
Juliusschacht, Steinkohle, Rossitz	72·01	4·09	10·57	0·16	3·09	10·08
Zuckerfabrik Skrochowitz, Steinkohle B, Provenienz unbekannt	76·39	4·49	10·63	0·27	2·77	5·45
Wildensteinsegen, Steink., Preußen	67·01	3·58	12·95	0·24	8·56	7·66
Pilsen-Priesen-Komotauer Steink.	46·48	3·41	14·21	0·22	29·14	6·54
Morgenroth, Steinkohle, Preußen	68·90	3·75	14·03	0·36	9·87	3·09
Ferdinandgr., Steinkohle, Oberschl.	73·50	4·26	13·06	0·29	5·16	3·73
Pankraz, Braunkohle, Böhmen	67·21	3·77	10·01	0·26	7·58	11·17
Fanny, Steinkohle, Preußen	66·39	3·82	14·79	0·31	8·30	6·39
Veronika, " "	75·87	4·56	10·96	0·20	3·69	4·72
Zuckerfabrik Skrochowitz, Steinkohle A, Provenienz unbekannt	77·36	4·26	10·70	0·32	3·10	4·26
Neuroder, Wenzeslausgrube, Josefs-Flötz	79·13	4·40	8·36	0·34	2·84	4·93
Eugenie, Steinkohle, Preußen	69·05	4·01	12·61	0·23	6·47	7·63
Salgó-Tarjáner Braunkohle, Ung.	51·81	3·79	13·97	0·67	11·37	18·39
Ajker Braunkohle	46·26	2·74	13·69	0·10	16·44	20·77
Chasé, Steinkohle, Preußen	72·28	3·83	12·50	0·37	7·89	3·08
Brüxer Braunkohle	50·09	3·44	13·73	0·29	26·43	4·02
Louisenglück, Steinkohle, Preußen	70·24	3·84	12·32	0·73	9·09	3·78
Köflacher Lignit	44·42	3·57	16·85	0·09	27·62	7·45
Freiensteiner Braunkohle	60·66	4·06	18·89	0·26	10·93	5·20
Zuckerkohle	97·27	0·94	1·25	—	—	0·54

III. Capitel.

Eigenschaften der festen Brennstoffe.

In der Praxis gibt man die Heizkraft eines Brennstoffes auch als **Verdampfungswerth** an, d. h. man gibt an, wie viele Kilogramm Wasser von 0° C. durch 1 *kg* des Brennstoffes in Dampf von 100° C. verwandelt werden könnten, wenn alle Wärmeverluste ausgeschlossen wären. Man kann den Verdampfungswerth berechnen durch Division des absoluten

Verbrennl. der Schwefel	Direct ermittelter Brennwerth p	Berechneter Brennwerth p'	Bildungswärme	Brennwerth berechnet nach d. Formel v. Dulong p''	Differenz d. vorigen mit dem direct ermittelten		Brennw. ber. nach d. Form. v. Dr. Otto v. Gmelin p'''	Differenz des Vorigen u. d. direct ermitt. in % d. Letzt.
					in Calorien	in % des berechn. Werthes		
%	Calorien	Calorien	Calorien	Calorien	Calorien	%	Calorien	%
0·65	6665	7095	430	6685	+ 137	+ 2·05	6718	+ 0·79
0·51	6796	7241	445	6773	+ 23	+ 0·34	6835	+ 0·58
0·47	7276	7731	445	7260	+ 16	+ 0·22	7409	+ 1·83
0·48	6202	6660	458	6090	+ 112	+ 1·84	6189	— 0·21
0·34	4477	4938	461	4317	+ 160	+ 3·71	4446	— 0·69
0·39	6366	6869	503	6318	+ 48	+ 0·76	6371	+ 0·08
0·31	6907	7415	508	6845	+ 62	+ 0·91	6917	+ 0·15
0·39	6217	6748	521	6299	— 82	— 1·30	5954	— 4·26
0·50	6150	6693	543	6043	+ 116	+ 1·92	6227	+ 1·11
0·53	7166	7715	549	7230	— 64	— 0·89	7194	+ 0·40
0·60	7280	7834	554	7257	+ 23	+ 0·32	7300	+ 0·27
2·18	7406	7964	558	7548	— 142	— 1·88	7447	+ 0·55
0·69	6431	6992	561	6417	+ 14	+ 0·22	6406	— 0·39
0·94	4950	5516	566	4889	+ 61	+ 1·25	4937	— 0·26
1·85	4160	4728	568	4093	+ 67	+ 1·64	4234	+ 1·78
0·69	6578	7177	599	6691	— 63	— 0·95	6554	— 0·36
0·18	4631	5237	606	4554	+ 77	+ 1·69	4613	— 0·40
0·43	6265	7009	744	6468	— 203	— 3·12	6425	+ 2·55
0·41	3989	4830	841	4092	— 103	— 2·52	4200	+ 5·29
0·19	5443	6305	862	5487	— 44	— 0·80	6054	+11·22
—	7982	8183	201	8120	— 138	— 1·69	7957	— 0·31

Heizeffectes (in Calorien) durch 637 (d. i. die totale Verdampfungswärme von 1 *kg* Wasser von 0 ° C.)

Am Schlusse dieses Capitels geben wir noch eine Zusammenstellung der durchschnittlichen Heizwerthe der verschiedenen festen und flüssigen Brennstoffe.

Hier wollen wir noch einige Eigenschaften erwähnen, welche bei der Beurtheilung der Brennstoffe in Frage kommen.

Das Strahlungsvermögen ist die Eigenschaft der glühenden und brennenden Heizmaterialien, einen Theil der producirten Wärme durch Strahlung auf ihre Umgebung zu übertragen. Das Strahlungsvermögen i wird ausgedrückt durch

das Verhältnis der ausgestrahlten Wärmemenge J zum absoluten Wärmeeffecte p; es ist also

$$i = \frac{J}{p}$$

Das Strahlungsvermögen ist bei Heizmaterialien, welche mit kurzer Flamme brennen, stets größer als bei den mit langer Flamme brennenden. Es beträgt nach Péclet bei Holz 0·25, bei Holzkohle 0·5, bei Koke 0·55 (siehe übrigens auch VIII. Capitel des ersten Theiles).

Entzündlichkeit und Brennbarkeit ist die Eigenschaft der Brennstoffe, sich mehr oder weniger leicht zu entzünden und fort zu brennen. Damit sich aber ein Körper entzünden könne, muß entweder er oder die Verbrennungsluft — am besten beide — auf eine gewisse Temperatur gebracht werden. Wird unter dem Einflusse der atmosphärischen Luft ein Körper langsam oxydirt, so tritt keine bedeutende Temperatursteigerung ein, da die producirte Wärme durch Leitung und Strahlung fast eben so schnell wieder entführt wird, als sie auftritt. Unter besonderen Umständen, wenn nämlich die Wärmeabfuhr möglichst verhindert wird, kann jedoch auf diesem Wege die Temperatur so weit gesteigert werden, daß eine wirkliche Entzündung der Masse eintritt (z. B. Selbstentzündung von Kohlen in größeren Haufen.)

Über die Entzündungstemperatur siehe übrigens auch p. 107 und 108.

Die Flammbarkeit ist die Eigenschaft der Heizmaterialien mit mehr oder weniger langer Flamme zu verbrennen. Die Flamme entsteht dadurch, daß aus dem Brennmateriale brennbare Gase entwickelt werden (wenn dieses nicht selbst gasförmig ist) und daß diese, bis sie vollständig verbrannt sind, eine bestimmte Wegstrecke durchlaufen, also eine gewisse räumliche und zeitliche Ausdehnung annehmen. Hieraus geht hervor, daß die Größe der Flamme abhängen muß:

1. Von der Menge und Zusammensetzung der brennbaren Gase und Dämpfe (also von der Zusammensetzung und Gasgiebigkeit des Heizmateriales);
2. von der mehr oder weniger raschen und innigen Mischung dieser Gase mit der Verbrennungsluft;
3. von der Geschwindigkeit, mit welcher brennbare Gase und Verbrennungsluft sich fortbewegen (also vom Essenzuge).

Daß die Flammbarkeit eines Brennmateriales die Art seiner Verwendung bedingt, ist einleuchtend. So wird man zur Erwärmung großer Räume oder Oberflächen (wie für Flammöfen, Pfannen- oder Kesselfeuerungen) stets langflammige Brennstoffe wählen.

Daß für gewisse Verwendungsarten der Heizstoffe auch der Nässegehalt (hygroskopischer Wassergehalt), der Aschengehalt, das Vorhandensein oder die Abwesenheit gewisser Stoffe (z. B. Schwefel und Phosphor), die Gasgiebigkeit, Menge und Eigenschaften des bei der trockenen Destillation verbleibenden festen Rückstandes, das Verhalten des Brennstoffes im Feuer (ob er zerspringt oder nicht, ob die zurückbleibende Schlacke zerfällt oder sintert) 2c. 2c. von großer Wichtigkeit sind, braucht hier wohl bloß erwähnt zu werden.

Für manche praktische und theoretische Zwecke ist die Kenntniß der Vergasungswärme eines Brennstoffes von Werth; es ist dies jene Wärmemenge, welche der Gewichtseinheit des Brennstoffes zugeführt werden muß, um die trockene Destillation desselben zu bewerkstelligen. Da der Verlauf der trockenen Destillation je nach der angewendeten Vergasungstemperatur ein verschiedener ist, so ist es von vorneherein klar, daß auch die Vergasungswärme je nach der Vergasungstemperatur im Allgemeinen eine verschiedene sein wird.

Den ersten Versuch die Vergasungstemperatur verschiedener Brennstoffe zu bestimmen, hat der Verfasser in der „Chemiker Zeitung“ (1887) gemacht und wurden die dort erhaltenen Zahlen durch eine weitere Arbeit: „Chemisch-calorische Studien über Generatoren und Martinöfen“ von demselben und Friedrich Toldt (Österr. Zeitschrift für Berg- und Hütt. W. 1888. — auch als Separatabdruck in Debit bei Arthur Felix in Leipzig) bestätigt. In den genannten Abhandlungen wurden die Vergasungswärmen von verschiedenen Kohlensorten wie folgt bestimmt.

Kohle A	Calorien	Calorien
Zersetzungswärme (resp. Bildungswärme) der Kohle	376·29	409·84
Zur mechanischen Energie (zur Gasentwicklung bei 0°) benöthigte Wärme	12·98	
	389·27	
Vergasungstemperatur	370° C.	—

Kohle B.	Calorien	Calorien	Calorien
Zersetzungswärme von 1 *kg* Kohle . . .	290·60	290·60	365·55
in mechanische Energie umgewandelte Wärme (wie oben)	38·14	27·75	
	328·74	298·35	
Vergasungstemperatur	470 ° C.	555 ° C.	—

Kohle C.

Vergasungswärme (=Zersetzungswärme von 1 *kg*) + bei der Gasentwicklung als mechanische Energie verbrauchte Wärme) . . . . 529·41 Calorien.

Zur annähernden Bestimmung der Vergasungswärme stellt Hanns v. Jüptner (l. c) die nachfolgenden Regeln auf:

Die Vergasungswärme setzt sich zusammen aus:

1. Der Zersetzungswärme der Kohle = ihrer Bildungswärme. Die Bestimmung derselben wurde oben p. 139 angegeben;

2. der auf mechanische Energie zur Gasentwicklung aufgewendeten Wärme, welche man berechnen kann durch Multiplication der irgendwie zu ermittelnden oder abzuschätzenden Vergasungstemperatur (bei Generatoren vielleicht am besten der Temperatur im oberen Theile derselben) mit der Anzahl der entwickelten Gasmoleküle (die man durchschnittlich zu 0·000658 per 1 *kg* Kohle und 1% Gasgiebigkeit annehmen kann) und mit 1·992.

Hiezu kommt noch — wenigstens in allen Fällen, wo es sich um jene Wärmemenge handelt, welche dem Brennmateriale von 0° C. an zugeführt werden muß, um die trockene Destillation durchzuführen:

3. jene Wärmemenge, welche zur Erwärmung der Kohle auf die Zersetzungstemperatur nöthig ist, und welche man erhält, indem man das betreffende Kohlengewicht mit der specifischen Wärme der Kohle (0·24) und der Vergasungstemperatur multiplicirt. Der größte Theil dieser Wärme findet übrigens zur Verdampfung des im Brennmateriale enthaltenen hygroskopischen Wassers, sowie der bei der trockenen Destillation entstehenden leicht condensirbaren Producte Verwendung.

Ein Beispiel wird die Art dieser Berechnung zeigen. Wir wählen hierzu die oben bereits angeführte Kohle B, für welche

die Vergasungswärme durch directe Versuche wie oben abgeleitet worden war.

Die Gasgiebigkeit der Kohle wurde in der Tiegelprobe mit 36·71% bestimmt.

Somit ergibt sich die Vergasungswärme dieser Kohle bei der Vergasungstemperatur von 470° C.:

1. Zersetzungswärme der Kohle (= Bildungswärme derselben) = ... 290·60 Cal.

2. Mechanische Energie der Gasentwicklung
$36·71 \times 0·000658 \times 1·992 \times 470 =$ . . . . . 22·56 „

zusammen 313·16 Cal.

gegen 389·27 oben.

wozu noch kommen:

3. Wärme zur Erhitzung der Kohlen auf die Verbrennungstemperatur (470° C.) $0·24 \times 470 =$ 112·80 „

total 425·96 „

Dieselbe Kohle braucht zur trockenen Destillation bei der Vergasungstemperatur 555° C.

1. Zersetzungswärme wie oben . . . . . . 290·60 Cal.

2. mechanische Energie der Gasentwicklung
$36·71 \times 0·000658 \times 1·992 \times 555 =$ . . . . . 26·64 „

zusammen 317·24.

gegen 298·35 oben.

Hiezu käme noch ebenfalls:

3. Wärme zum Erhitzen der Kohle auf die Verbrennungstemperatur (555° C.) $0·24 \times 555 =$ 133·20

total 450·44

Die immerhin ziemlich geringen Differenzen, welche zwischen den frühern und den gegenwärtigen Bestimmungen vorkommen, sind hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß einmal der durchschnittliche Factor für die Anzahl der Gasmoleküle pro 1 *kg* Kohle und 1% Gasgiebigkeit eigentlich je nach der Art der Zersetzung eine verschiedene ist und dann daß die durch die Tiegelprobe bei einer, notabene nicht bekannten Temperatur ermittelte Gasgiebigkeit jedenfalls mit einer, vielleicht auch mit beiden Vergasungstemperaturen von 470° respectiven von 555° C. nicht genau übereinstimmt.

Die wichtigsten Daten über die natürlichen

Brennstoff		Chemische Zusammensetzung der trockenen und aschenfreien Masse			$\frac{O+N}{H}$
		C	H	O + N	
Cellulose, $C_6H_5O_5$		44·44	6·17	49·39	8
Holz	von	50·00	6·0	44·00	7
	bis	51·75	6·3	41·95	—
Torf	von	58·00	6·3	36·00	6
	bis	63·00	5·5	31·50	5
Braunkohle					
fossiles oder bituminöses Holz	von	57·00	6·0	37·00	6
	bis	67·00	5·0	28·00	5
erdige Braunkohlen	von	56·00	6·0	38·00	6
	bis	68·00	5·0	27·00	5
Braunkohlen	von	65·00	6·0	29·00	5
	bis	75·00	4·0	21·00	4
fette Braunkohlen	von	70·00	6·0	24·00	4
	bis	80·00	4·0	12·00	2
Steinkohlen					
magere Kohlen (mit langer Flamme)	von	75	5·5	19·5	4
	bis	80	4·5	19·5.	3
fette Kohlen (mit langer Flamme)	von	80	5·8	14·2	3
	bis	85	5·0	10·0	2
fette Kohlen	von	84	5·0	11·0	2
	bis	89	5·5	5·5	1
fette Kohlen mit kurzer Flamme	von	88	5·5	6·5	1
	bis	91	4·5	4·5	—
magere oder Anthracit-Kohle	von	90	4·5	5·5	1
	bis	93	4·0	3	—
Anthracit	von	93	4·0	3·0	1
	bis	95	2·0	3·0	0·5
Petroleum	von	80	1·5	3	0·2
	bis	85	1·4	1	0·1
Destillirtes Oel (Petroleum) von White Oak (westl. Virginien)		85·3	13·9	0·8	—
Destillirtes Oel (Petroleum) von Burning spring (w. Virginien)		84·0	14·4	1·6	—
Rohes Oel (Petroleum) von Oil creek in Pennsylvanien		82·0	14·8	3·2	—
Schweres Theeröl von der Pariser Gasgesellschaft (gewonnen aus Kohlen)		82·0	7·6	10·4	—

Brennmaterialien nach J. v. Ehrenwerth.

Destillationsproducte in Procenten				Specifisches Gewicht	Gewicht von 1 m^3 in *kg*	Wärmeeffect der wasser- und aschenfreien Masse in Calorien	1 *kg* wasser- und aschenfreies Brennmateriale verdampft *kg* Wasser v. 112° C.
Koke	Wasser	Bitumen	Gase				
28—30	—	—	—	1·5	—	3622	3·67*)
30	50	6	20	0·45	250—300	3000	
35	45	8	19	0·66	350—450	4000	
35	30	6	25	0·2	260	3200	3·24
40	20	12	18	1·0	400	4000	
50	30	6	25	0·5	550	5000	—
40	20	12	18	1·3	750	6400	—
45	—	—	—	—	—	5000	—
50	—	—	—	—	—	6400	—
40	20	16	24	1·2	700	6500	5·00
50	15	14	21	1·25		7000	
30	20	35	25′	1·15	700	7000	—
45	10	20	15	1·20		8000	—
50	12	18	20	1·25	700	8200	6·7
60	5	15				8300	7·5
60	5	15	20	1·28	700	8500	8
68		12	17	1·30	750	8800	
68	3	13	16	1·30	750	8800	8·4
74	1	10	15		800	9300	9·2
74	1	10	15	1·30	800	9300	10·0
82		5	12	1·35		9600	
82	1	5	12	1·35	850	9200	9·5
90	0	2	8	1·40		9500	
90	—	—	16	1·6	850	9000	9
92	—	—	18	1·8	1000	9200	
0	—	—	—	0·8	800	10000 11000	—
—	—	—	—	0·819	—	10104	—
—	—	—	—	0·762	—	10146	—
—	—	—	—	0·816	—	9887	—
—	—	—	—	1·044	—	8849	—

*) Gewöhnliches Holz und gewöhnlicher Torf mit 35% Wasser und Asche.

Verkohlte Brenn-

Brennstoffe	C	H	O + N	H_2O
A) Holzkohle				
Tannen / Fichten / harte Kohle	80·0	1·8	3·1	12·0
B) Torfkohle	—	—	—	—
C) Koke				
aus Braunkohle	—	—	—	—
aus gut kokebarer Kohle	—	0·4	2·5	an 12

IV. Capitel.

Gasförmige Brennstoffe; Destillationsgase.

Die flüssigen Brennstoffe kommen so selten zur praktischen Benützung, daß wir über dieselben uns mit den in der Zusammenstellung am Schlusse des vorigen Capitels mitgetheilten Daten genügen lassen können.

Die gasförmigen Brennstoffe hingegen sind von so eminenter praktischer Wichtigkeit, daß wir denselben ein eigenes Capitel widmen müssen.

Ein Vergleich der Gasfeuerungen mit den Rostfeuerungen läßt uns die nachfolgenden Vortheile der ersteren gegenüber den letzteren erkennen:

1. Bei der ersteren können schlechtere und somit auch billigere Brennstoffe angewendet werden, die bei der Rostfeuerung unbrauchbar wären.

2. Die Verbrennung ist bei Gasfeuerungen sehr regelmäßig und läßt sich durch Verstellung der Zugregister leicht reguliren.

3. Der zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung nöthige Luftüberschuß ist (wie schon p. 74 erwähnt) weit kleiner

Materialien.

Asche %	Wärmeeffect Calorien	Gewicht pro 1 m^3 inclus. Zwischenräume kg	Ausbringen in % Volumen	Gewicht
3·0	6900	125 bis 140 140 „ 180 200 „ 240	an 60 %	17 bis 28, meist bei 22 %
—	6300	230 bis 350	an 60 %	ca. 30
—	5500	—	—	40 bis 50
5 bis 20	8000	350 bis 450	—	55 „ 80

als bei Rostfeuerungen, wodurch sowohl Ersparung an Brennmateriale als höhere Temperaturen erzielt werden.

4. Es ist leicht eine rauchfreie Verbrennung zu erreichen.

5. Das feste Brennmateriale kann bei Anwendung von Gasgeneratoren weit vollkommener ausgenützt werden (der Verlust an unverbranntem Brennmateriale im Rostdurchfalle kann weit kleiner gehalten werden) als bei Rostfeuerungen.

6. Die Feuerzüge bleiben ruß- und aschenfrei und bei Schmelzprocessen findet keine Verunreinigung des Schmelzgutes durch die Asche statt.

7. Von ein und demselben Generator können auch mehrere Feuerstellen gleichzeitig mit Gas versorgt werden.

Auf der anderen Seite darf man allerdings auch wieder nicht übersehen, daß bei Gasfeuerungen die Anlagekosten, sowie das Raumerfordernis größer ist, als bei Rostfeuerungen, und daß der Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung (in Folge der Größe der Gasgeneratoren und Leitungscanäle) bei ersteren erheblich größer ist, als bei letzteren.

Außer den natürlichen Gasen, deren mittlere Zusammensetzung schon oben (p. 133) mitgetheilt wurde, und im Allgemeinen viel wichtiger als diese, sind die künstlichen gasförmigen Brennstoffe, die man nach der Art ihrer Entstehung in folgender Weise eintheilen kann:



1. Destillationsgase, sie entstehen bei der trockenen Destillation fester oder flüssiger Brennstoffe.

2. Verbrennungsgase, sie entstehen durch unvollkommene Verbrennung fester oder flüssiger Brennstoffe, und

3. gemischte Destillations- und Verbrennungs-Gase, welche den beiden vorgenannten Processen gleichzeitig ihre Entstehung verdanken.

Reine Destillationsgase sind das Leuchtgas, die Gase der Retortenverkohlung 2c. Über die Vorgänge bei der trockenen Destillation läßt sich im Allgemeinen das Folgende sagen:

Die Producte der trockenen Destillation sind:

1. fester Rückstand (Koke) d. i. aschenhältiger, unreiner (Wasserstoff 2c. hältiger) Kohlenstoff, etwa 50 — 70%.

2.) flüssiges Destillat, etwa 10 bis 30%, welches sich wieder unterscheiden läßt in:

a) Theerwasser, d. i. der dünnflüssige Antheil derselben (5 bis 20%) und

b) Theer oder Tar, der dick und zähflüssige, dunkel gefärbte Antheil desselben (5—15%);

3. gasförmige Destillationsproducte, welche uns hier am meisten interessiren. Sie machen zusammen etwa 20% aus und bestehen der Hauptmasse nach (ca 50%) aus Methan oder Sumpfgas (CH_4), aus Kohlenoxydgas (etwa 40%) und Elail oder ölbildendem Gase (ca 10%)

Die Producte der trockenen Destillation sind verschieden bei stickstofffreien und stickstoffhältigen Körpern.

Stickstofffreie Körper liefern meist lockere, sehr poröse Koke, die Gase und Riechstoffe kräftig absorbirt (hierauf gründet sich die Anwendung der Holzkohle zur Entfuselung, Desinfection, 2c.) und ein Theerwasser von stark saurer Reaction, das neben Assamar-Essigsäure immer Kressyl- und Methylverbindungen (Creosot und Holzgeist) enthält.

Stickstoffhaltige Körper hingegen liefern meist eine harte, dichte und feinporige Koke mit einem besonderen Bindungsvermögen für Farbstoffe und Bitterstoffe (hierauf beruht die Anwendung der Blut- und Knochenkohle zum Entfärben und Entbittern, z. B. in Zuckerfabriken) und ein alkalisch rea-

girendes Theerwasser, das neben kohlensaurem Ammon („Hirschhornsalz“) zahlreiche Theerbasen (Dippel'sches Oel) und Cyanverbindungen enthält. Die einzige sichergestellte Ausnahme von dieser Regel bildet das stickstoffhaltige Chitin (das Hautskelet der Insecten, Krebse und Spinnen), das bei der trockenen Destillation ein von Essigsäure sauer reagirendes Theerwasser liefert.

Das eben gegebene Schema der trockenen Destillation erleidet bei manchen Körpern die Ausnahme, daß sich kein fester Rückstand bildet, sondern nur flüchtige Destillationsproducte entstehen. Außerdem hängt die Art und Menge der gebildeten Zersetzungsproducte nicht nur von der Art der zu destillirenden Körper, sondern auch von der Temperatur ab, bei welcher die Destillation ausgeführt wird. So zerfällt häufig der bei niederer Destillationstemperatur erhaltene feste Rückstand bei Steigerung derselben abermals in flüchtigere Producte und einen kohlenstoffreicheren festen Rückstand.

Zur Illustration des eben gesagten, mögen die nachfolgenden Schemata der trockenen Destillation der wichtigsten festen Brennstoffe dienen.

Schema der trockenen Destillation des Holzes.

Mittlere Zusammensetzung des Holzes (lufttrocken).

Hygroskopisches Wasser	20%
chemisch gebundenes Wasser	40 „
Kohle (inclus. 1% Asche)	40 „
	100%

Dasselbe liefert:

a) hygroskopisches Wasser
b) trockene Holzmasse, welche wieder zerfällt in:

α) Leuchtgas:
- Acetylen, C_2H_2
- Elayl, C_2H_4
- Trityl, C_3H_6
- Ditetryl, C_4H_8
- Benzol, C_6H_6
- Toluol, C_7H_8
- Xylol, C_8H_{10}

- α) Leuchtgas
  - Naphtalin, $C_{10}H_8$ (?)
  - Kohlenoxyd, CO
  - Kohlensäure, CO_2
  - Methan oder Sumpfgas, CH_4
  - Wasserstoffgas, H_2
- β) Theer
  - Benzol, C_6H_6
  - Toluol, C_7H_8
  - Styrolen, C_8H_8
  - Naphtalin, $C_{10}H_8$ (?)
  - Reten, $C_{18}H_{18}$
  - Paraffin, $C_{20}H_{42}$ bis $C_{22}H_{46}$
  - Phenole
    - Phenylsäure, C_6H_6O
    - Kresylsäure, C_7H_8O
    - Phlorylsäure, $C_8H_{10}O$
  - Guajakole
    - Oxyphensäure, $C_6H_6O_2$
    - Kreosote: $C_7H_8O_2$, $C_8H_{10}O_2$, $C_9H_{12}O_2$ — Verbindungen der Oxyphensäure und homologer Säuren mit Methyl. Nach S. Marani besteht das rheinische Buchenholztheercreosot aus gleichen Theilen von Kresylsäure, C_7H_8O (Siedepunkt 203°) und Guajakol, $C_7H_8O_2$ (Siedepunkt 200°), welch' letzteres der sauere Methyläther der Oxyphensäure ist $\left(\begin{matrix}C_6H_5\\CH_3\end{matrix}\right\}O_2$ oder $C_6H_4<\begin{matrix}OH\\OCH_3\end{matrix})$
  - Brandharze
- γ) Theerwasser (=Holzessig)
  - Essigsäure, $C_2H_4O_2$
  - Propionsäure, $C_3H_6O_2$
  - Buttersäure, $C_4H_8O_2$
  - Valeriansäure, $C_9H_{10}O_2$
  - Capronsäure, $C_{10}H_{12}O_2$
  - Aceton, C_3H_6O
  - Methylacetat, $C_3H_6O_2$
  - Holzgeist, CH_4O
  - Phenole
  - Guajacole
  - Brandharze

i) Holzkohle	Kohlenstoff (Wasserstoff- und Sauerstoff-hältig)	85%
	hygroskopisches Wasser	12 „
	Asche	3 „
		100%

Schema der trockenen Destillation des Torfes
nach H. Vohl.

100 Theile eines Torfes von einem Hochmoore im Canton Zürich ergaben bei der trockenen Destillation:

17·625 Theile Gas:
- schwere Kohlenwasserstoffe
- Carbol, Sumpfgas oder Methan, CH_4
- Wasserstoffgas, H_2
- Kohlenoxyd, CO

5·375 Theile Theer:
- Turfol von 0·820 specifisch. Gewicht
- schw. Öl (Schmieröl) v. 0·885 sp. Gew.
- Paraffin

52·000 Theile wässriges Destillat:
- Basen
  - Ammoniak
  - Aethylamin
  - Picolin
  - Lutidin
  - Anilin
  - Cäspidin
- Säuren
  - Kohlensäure
  - Schwefelwasserstoff
  - Cyanwasserstoff (Blausäure)
  - Essigsäure
  - Propionsäure
  - Buttersäure
  - Valeriansäure
  - Phenylsäure
- Wasser

25·000 Theile Torfkohle

100·000 Theile

Schema der trockenen Destillation der Steinkohle
nach R. Wagner.

100 Theile Gaskohle von nachstehender Zusammensetzun

Kohlenstoff	78·0%
Wasserstoff	4·0 „
Stickstoff	1·5 „
Schwefel	0·8 „
Wasser, chemisch gebunden	5·7 „
„ hygroskopisch	5·0 „
Asche	5·0 „
Summe	100·0%

geben bei der trockenen Destillation:

1. Kohle 70 bis 75 Theile
- Kohlenstoff (H und O-hältig) 90—95
- Schwefeleisen, Fe_7S_8 } erdige Bestandtheile } . . 10—5
- 100

2. Theerwasser (Ammoniakwasser):

Hauptbestandtheile
- Wasser
- kohlensaures Ammon., $2(NH_4)_2CO_3+C$
- Schwefelammonium, $(NH_4)_2S$

Accessorische Bestandtheile
- Chlorammonium, NH_4Cl
- Cyanammonium, NH_4CN
- Schwefelcyan-(Rhodan-) Ammonium, N CNS

3. Theer:

α) Kohlenwasserstoffe

flüssige
- Benzol, C_6H_6
- Toluol, C_7H_8
- Xylol, C_8H_{10}
- Pseudocumol, C_9H_{12}
- Cyanol, $C_{10}H_{14}$
- Propyl, C_3H_7
- Butyl, C_4H_9
- u. s. w.

feste
- Naphtalin, $C_{10}H_8$
- Acetylnaphtalin, $C_{12}H_{10}$
- Fluoren, (?)
- Anthracen, $C_{14}H_{10}$
- Methylanthracen, $C_{15}H_{12}$
- Reten, $C_{16}H_{12}$
- Chrysen, $C_{18}H_{12}$
- Pyren, $C_{16}H_{10}$

β) Säuren
- Phenol (Monoxybenzol) C_6H_6O
- Kresol (Monoxytoluol) C_7H_8O
- Phlorol, $C_8H_{10}O$
- Rosolsäure, $C_{20}H_{16}O_3$
- Oxyphensäure (Dioxybenzol) $C_6H_6O_2$
- Kreosot, aus drei homologen Körpern bestehend: $C_7H_8O_2$, $C_8H_{10}O_2$, $C_9H_{12}O_2$

γ) Basen
- Pyridin, C_5H_5N
- Anilin, C_6H_7N
- Picolin, C_6H_8N
- Lutidin, C_7H_9N
- Collidin, $C_8H_{11}N$
- Leucolin, C_9H_7N
- Iridolin, $C_{10}H_9N$
- Cryptidin, $C_{11}H_{11}N$
- Acridin, $C_{12}H_9N$
- Coridin, $C_{10}H_{15}N$
- Rubidin, $C_{11}H_{17}N$
- Viridin, $C_{12}H_{19}N$

δ) Asphalt bildende Bestandtheile
- Anthracen
- Brandharze
- Kohle

4. Leuchtgas:

α) Leuchtende Bestandtheile oder Lichtgeber

Gase
- Acetylen, C_2H_2
- Elayl (Aethylen) C_2H_4
- Trityl (Propylen) C_3H_6
- Ditetryl (Butylen) C_4H_8

Dämpfe
- Benzol, C_6H_6
- Styrolen, C_8H_8
- Naphtalin, $C_{10}H_8$
- Acetylnaphtalin, $C_{12}H_{10}$
- Fluoren (?)
- Propyl, C_3H_7
- Butyl, C_4H_9

β) Verdünnende Bestandtheile oder Lichtträger
- Wasserstoff, H_2
- Carbol, Sumpfgas od. Methan, CH_4
- Kohlenoxyd, CO

γ) verunreinigende Bestandtheile:
- Kohlensäure, CO_2
- Ammoniak, NH_3
- Cyan, CN = Cy
- Schwefelcyan = Rhodan, CNS
- Schwefelwasserstoff, H_2S
- geschwefelte Kohlenwasserstoffe
- Schwefelkohlenstoff, CS_2
- Stickstoff, N_2

Gillot erhielt bei seinen sorgfältigen Versuchen über die Verkohlung des Holzes in vollkommen geschlossenen Gefäßen:

Kohle	32·63 %
Essigsäurehydrat	7·169 „
Methylalkohol	1·900 „
Theer*)	2·000 „
Wasser	40·128 „
Gase	16·167 „
	99·994 %

Die nachfolgende Tabelle enthält Angaben über die verschiedenen Mengen an Producten, welche bei der trockenen Destillation einiger Kohlensorten erhalten werden können.

Kohlensorten	1 *hl* Kohle wiegt *kg*	100 *kg* Kohle geben Gas m^3	Koke-Ausbeute		1 *hl* Kohle wiegt *kg*	Beschaffenheit der Koke
			Volum-%	Gewichts-%		
Westphälische	80—86	27—30.38	130—140	60—69	39—42	dicht, groß
Saarbrückner	72—80	26·5—29·12	120—130	57—65	36—40	ziemlich dicht
Niederschlesische	82—87	50·0—27·34	125—135	65—72	41—47	porös, ziemlich groß
Oberschlesische	76—80	27·4—28·4	118—122	62—70	41—45	dicht, klein
Zwickauer	77—80	24·9—26·6	105—115	50—60	38—42	porös, klein
Pilsner Schwarzkohle	73—80	24—27	120—130	50—60	33—37	porös, klein
Pilsner Plattenkohle	65—70	31—34	95—100	51	33—37	schiefrig, klein
Falkenauer Braunkohle	62—67	31—33.4	50—55	33	40—45	schiefrig, klein

*) als C_4H_4 angenommen.

Um die Vorgänge bei der trockenen Destillation und speciell bei der Verkokung zur Anschauung zu bringen, mögen die wichtigsten Daten aus einem Vortrage von W. Jicinski über „Die Ammoniak- und Theergewinnung beim Kokofenbetriebe mit besonderer Berücksichtigung der Ostrauer Verhältnisse" mitgetheilt werden.

Die Zusammensetzung von fünf Flötzen aus dem engeren Ostrauer Reviere, wie sie den weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt ist, ist folgende:

Lufttrockene Kohle vom Flötz	enthält					Kokungsgrad	Anmerkung
	C	H	O	N	Asche		
Johann	81·74	5·53	6·18	1·31	5·24	gut	Gaskohle
Adolf	81·80	5·23	8·31	1·76	2·89	sehr gut	"
Günther	80·54	5·09	7·66	1·43	5·27	" "	Kokekohle
Franziska	83·35	4·66	5·06	1·52	5·37	vorzüglich	"
Juliana	86·76	4·06	3·51	1·30	4·73	mittelmäßig	anthracitartige Kohle

Schwefelgehalt zwischen 0·50 und 1·05 %
Phosphorgehalt zwischen 0·004 und 0·108 %.

Bei der trockenen Destillation entwickeln obige Kohlensorten:

Flötz	Auf 1 *kg* Kohle m^3 Gas	Koksrückstand in %
Johann	30·86	67·00
Adolf	30·02	76·00
Günther	29·96	75·00
Franziska	28·60	81·38
Juliana	27·42	86·62

Die Ammoniakausbeute ist dem Stickstoffgehalte der Kohlen nicht proportional. Bei manchen Kohlen scheint sich der Stickstoff mit dem Wasserstoffe leichter zu verbinden als bei anderen. Von dem Gesammtstickstoffgehalte der Kohle bleibt durchschnittlich drei Viertel in den Kohlen zurück; dies ist der sogenannte Kohlenstickstoff; er wird nur bei der vollständigen Verbrennung der Kohle vergast. Etwa ein Viertel des Gesammtstickstoffes, der sogenannte Ammoniakstickstoff, betheiligt sich an der Ammoniakbildung. Doch auch von diesem entweicht bei der trockenen Destillation ein Theil als Cyan oder als freier Stickstoff, so daß der bei der Ammoniakgewinnung nutzbare Stickstoff nur zwischen 0·188 bis 0·089 des Gesammtstickstoffes schwankt.

Die nachfolgende Tabelle gibt den nutzbaren Ammoniakstickstoff einiger Kohlensorten.

Grube oder Flötz		Gesammt-Stickstoffgehalt in % der lufttrockenen Kohle	Hievon zur Ammoniakgewinnung verwendbar: vom Gesammt-Stickstoffgehalte	Hievon zur Ammoniakgewinnung verwendbar: in % der Kohle	gibt Ammoniak in % der Kohle	Umgerechnet auf schwefelsaures Ammoniak	Gewinnbarer Theer in %
Zeche Kaiserthal	Westphalen	1·39	0·144	0·200	0·244	0·94	3·4
„ Pluto	Westphalen	1·45	0·146	0·212	0·258	1·00	3·4
„ Wilhelmine	Westphalen	1·77	0·142	0·252	0·306	1·18	3·4
Flötz Johann	Ostrau	1·31	0·140	0·184	0·244	0·94	1·7
„ Adolf	Ostrau	1·76	0·126	0·222	0·270	1·04	1·7
„ Günther	Ostrau	1·43	0·120	0·172	0·210	0·81	1·3
„ Franziska	Ostrau	1·52	0·089	0·135	0·165	0·64	2·6
„ Juliana	Ostrau	1·30	0·134	0·175	0·213	0·82	1·8
Oberschles., Durchschn.		2·49	0·188	0·296	0·360	1·40	3·6
Zeche Friedenshoffnung	Nied.-Schles.	unbekannt	unbekannt	0·168	0·204	0·79	3·0
Zeche Karl, Georg und Victor	Nied.-Schles.	dto.	dto.	0·148	0·180	1·69	2·5
England, Durchschn.		1·40	0·167	0·235	0·286	1·11	3·12

Der Theer aus dem Kokeofen-Betriebe enthält gewöhnlich

0·9—1·06% Benzin
4·26—5·27% Naphtalin
0·57—0·64% Anthracen
ca. 50% Pech, und
40% andere Rückstände.

Die Theerausbeute beträgt gewöhnlich 2 bis 3% der Kohle und höchstens ein Drittel bis ein Viertel der im Laboratorium ermittelten.

Der Unterschied zwischen den in Kokeöfen und den in Gasanstalten gewonnenen Gasen geht aus den nachstehenden Analysen hervor:

	Kokeofen-Gase	Gase aus der Gasanstalt
Bezindampf	0·61%	1·53%
Aethylen	1·63 „	1·19 „
Schwefelwasserstoff	0·43 „	— —
Kohlensäure	1·41 „	0·87 „
Kohlenoxydgas	6·49 „	5·40 „
Wasserstoff	53·32 „	55·00 „
Methan	36·11 „	36·00 „
Summe	100·00	100·00

Von besonderm Interesse für uns sind auch die Beobachtungen C. G. Müller's über die Bildung von Ammoniak bei der trockenen Destillation der Steinkohlen, welche wir nach der „Chemiker-Zeitung“ im Auszuge mittheilen wollen:

Bei der Zersetzung der Steinkohlen sind zwei Perioden deutlich unterscheidbar. In einer ersten, der eigentlichen Destillationsperiode, entwickeln sich bei der verhältnißmäßig niederen Temperatur von 500° bis 600° stark leuchtende Gase, Wasserdampf und Theer, wobei die Steinkohle sich aufbläht und Koke bildet. In der zweiten Periode, in welcher die Temperatur zur hellen Rothgluth gesteigert wird, geben die Koke — eine Volumsverminderung erleidend — selbst neue Gase ab, deren Volumen beinahe ein Drittel des Gesammtvolumens beträgt, welche übrigens nicht von Theer begleitet sind und mit schwach leuchtender Flamme brennen. Die Koke, welche am Ende der ersten Periode zurückbleibt, ist keineswegs, wie vielfach angenommen wird, mit Mineralstoffen verunreinig-

ter Kohlenstoff, sondern wahrscheinlich ein Gemenge sehr fester Kohlenstoffverbindungen, deren Zusammensetzung ungefähr der Formel $C_{15} H_4 O$ entspricht. Dieser Stoff wird nun in der zweiten Periode unter Glühhitze weiter zersetzt; aber selbst unter Weißglühhitze gelingt die völlige Austreibung der letzten Reste von Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff nicht.

Wenn größere Mengen Steinkohlen in rothglühende Entgasungsräume gebracht werden, finden beide Processe nebeneinander statt. Man würde sie beide, die Steinkohlenzersetzung und die Kokezersetzung, im Großen von einander trennen können, wenn man doppelte Oefen derart einrichten würde, daß die einen nur auf 600° erhitzt würden und zur Austreibnng des Theeres dienten, während die andern in lebhafter Rothgluth stünden und die in den ersteren gebildete Koke zu entgasen hätten. Eine solche Trennung kann unter Umständen praktische Vortheile bieten.

Die von Müller im Kleinen ausgeführten Versuche bestätigen zunächst die bekannte Thatsache, daß sich in den Zersetzungsproducten der Steinkohle nur ein Fünftel des vorhandenen Stickstoffes in Gestalt von Ammoniak oder von Ammonverbindungen vorfindet; sie ergaben aber außerdem das wichtige Resultat, daß die Hauptmenge des Ammoniaks nicht in der ersten Periode, zugleich mit dem Theere, sondern beim Beginn der Kokezersetzung auftritt.

Es betrug beispielsweise

bei den Proben	das gewonnene Ammoniak in der I. Periode	in der II. Periode
Nr. 1	0·065	0·267
„ 2	0·059	0·144
„ 3	0·108	0·145
„ 4	0·120	0·178
„ 5	0·063	0·183
„ 6	0·056	0·242

Das Vorstehende dürfte zur Klarlegung der Processe, welche sich bei der trockenen Destillation vollziehen, genügen.

V. Capitel.

Reine Verbrennungsgase.

Reine Verbrennungsgase entstehen bei der unvollkommenen Verbrennung verkohlter Brennstoffe. Der Vorgang hierbei läßt sich, wenn man die verkohlten Brennstoffe als reinen Kohlenstoff annimmt (was allerdings nicht strenge richtig ist), durch die nachfolgende Gleichung zum Ausdrucke bringen:

$$C + O = CO$$

Nimmt man hierbei noch auf den Stickstoffgehalt der atmosphärischen Luft Rücksicht, so gibt eine einfache Rechnung die theoretische Zusammensetzung des reinen Verbrennungsgases wie folgt:

2 Vol. CO enthalten 1 Vol. Sauerstoff.

Die Luft enthält auf 21 Vol. Sauerstoff 79 Vol. Stickstoff; es entfallen somit auf 1 Vol. Sauerstoff 3·76 Vol. Stickstoff; das Verbrennungsgas enthält somit

Kohlenoxyd . . .	2	Vol. Theile
Stickstoff	3·76	„ „
	5·76	„ „

oder in Procenten gerechnet:

$$\text{Kohlenoxyd} = \frac{2 \times 100}{5 \cdot 76} = 34 \cdot 73 \text{ Vol.\%}$$

$$\text{Stickstoff} = \frac{3 \cdot 76 \times 100}{5 \cdot 76} = \frac{65 \cdot 27 \text{ Vol.\%}}{100 \cdot 00 \text{ Vol.\%}}$$

Um die Zusammensetzung dieses Gases in Gewichtsprocenten zu berechnen, müssen wir bedenken, daß im Kohlenoxyde 12 Gewichtst. Kohlenstoff mit 16 Thl. Sauerstoff verbunden sind, daß also 7 Gewichtstheile Kohlenoxyd aus 4 Thl. Kohlenstoff und aus 3 Thl. Sauerstoff bestehen; ebenso auch daß die atmosphärische Luft (nach Gruner) auf 1 Thl. Sauerstoff etwa $3^1/_3$ Thl. Stickstoff enthält. Hiernach besteht das fragliche Gas aus

Kohlenoxyd	7	Gewichtsthl.
Stickstoff $3 \times 3^1/_3$ . .	10	„
Zusammen	17	Gewichtsthl.



Hieraus berechnet sich die Zusammensetzung des Gases in Gewichtsprocenten wie folgt:

$$\text{Kohlenoxyd} = \frac{7 \times 100}{17} = 41{\cdot}17\%$$

$$\text{Stickstoff} = \frac{10 \times 100}{17} = \frac{58{\cdot}83\%}{100{\cdot}00\%}$$

Der Wärmeeffect dieses Gases beträgt
per 1 *kg* . . . . $0{\cdot}4117 \times 2402{\cdot}7 = 989$ Calorien
und per 1 m^3 . $0{\cdot}3473 \times 3007 = 1044$ Calorien.

Ein ähnlich zusammengesetztes Gas ließe sich jedoch nur in sehr großen (respective sehr hohen) Generatoren erzeugen, bei kleineren Generatoren ist es nicht zu vermeiden, daß in den Gasen neben Kohlenoxyd auch Kohlensäure auftritt. In Berücksichtigung dessen kann man für das gewöhnliche Luftgas annehmen, daß es durchschnittlich die nachfolgende Zusammensetzung besitze:

Kohlenoxyd	25·7	Vol. %
Kohlensäure	4·5	„ „
Stickstoff	69·8	„ „
	100·0	„ „

oder in Gewichtsprocenten:

$$\text{Kohlenoxyd} = \frac{7 \times 27{\cdot}7 \times 100\,^{*)}}{732} = 26{\cdot}48\%$$

$$\text{Kohlensäure} = \frac{11 \times 4{\cdot}5 \times 100}{732} = 6{\cdot}76 \text{ „}$$

$$\text{Stickstoff} = \frac{7 \times 69{\cdot}8 \times 100}{732} = \frac{66{\cdot}76 \text{ „}}{100{\cdot}00 \text{ „}}$$

und hieraus berechnet sich der Heizeffect des Gases
pro 1 *kg* $= 0{\cdot}2648 \times 2402{\cdot}7 = 636$ Calorien
„ 1 $m^3 = 0{\cdot}257 \times 3007 = 773$ „

Was sich in der Praxis an Verbrennungs-Generatorgasen erreichen läßt, zeigen die nachfolgenden Beispiele:

Ebelmen vergaste zu Audincourt Holzkohlenklein in einem Gebläsegenerator von der Gestalt eines kleinen Hochofens

*) $732 = 7 \times 27{\cdot}7 + 11 \times 4{\cdot}5 + 7 \times 69{\cdot}8$.

und erhielt ein Gas von der nachfolgenden gewichtsprocentischen Zusammensetzung:

Kohlenoxydgas	34·1%
Stickstoff	64·9 „
Kohlensäure	0·8 „
Wasserstoff	0·1 „
	100·0 „

während er in einem Gasgenerator der Hütte zu Pont-l'Evêque, der mit Koke bedient wurde, das Gas wie folgt zusammengesetzt fand:

Kohlenoxydgas	33·8%
Stickstoff	64·8 „
Kohlensäure	1·3 „
Wasserstoff	0·1 „
	100·0 „

Ueber den Einfluß der Schütthöhe der Kohlen im Generator auf die Zusammensetzung der Verbrennungsgase geben die Versuche interessanten Aufschluß, welche Dürre in einem einfachen Windofen des Aachener Laboratoriums mit Koke und mit anthracitischer Kohle des Wormrevieres anstellte, und welche die folgenden Resultate ergaben:

Gaskoke von Aachen

Schütthöhe	Gas-Zusammensetzung		
	CO_2	O	CO
12 *cm*	13	6·6	—
26 „	14	1·0	6·3
46 „	9	1·0	15·0

Anthracitische Würfelkohle des Wormrevieres.

Schütthöhe	Gas-Zusammensetzung		
	CO_2	O	CO
12 *cm*	13	0·4	10·8
26 „	8	1·0	8·4
46 „	7·5	1·0	11·0

Die Kokegase brannten in keinem der drei Fälle, während die Gase der anthracitischen Würfelkohlen im zweiten mit schwach leuchtender Flamme, im dritten Fall mit stark leuchtender Flamme brannten.

Berechnet man unter Vernachlässigung des Sauerstoff-Gehaltes der Kohle in den obigen Beispielen den Sauerstoff der Kohlensäure und des Kohlenoxydes und hieraus die Stickstoffmenge der Verbrennungsluft, addirt letztere zu der Summe von Kohlensäure, Sauerstoff und Kohlenoxyd, so repräsentirt die Differenz dieser Summe von 100 die Volumprocente von $CH_4 + C_2H_4$, welche die Hauptursache der Brennbarkeit der besprochenen Gase bilden. Man hat dann nämlich:

Gaskohle von Aachen.

Schütthöhe	Gaszusammensetzung CO_2	O	CO	N	$H_2 + CH_4 + C_2H_4$
12 *cm*	13	6·6	—	73·73	6·67
26 „	14	1·0	6·3	68·28	10·42
46 „	9	1·0	15·0	65·83	9·17

Anthracitische Würfelkohle des Wormreviers.

Schütthöhe	Gaszusammensetzung CO_2	O	CO	N	$H_2 + CH_4 + C_2H_4$
12 *cm*	13	0·4	10·8	70·72	5·08
26 „	8	1·0	8·4	49·42	33·18
46 „	7·5	1·0	11·0	52·66	27·84

Den eben beschriebenen (sogenannten „Luft“-) Gasen sehr nahe stehen die Gichtgase der Hochöfen, wie die nachstehenden Analysen zeigen:

A. Holzkohlen-Hochofen-Gase.

	CO_2	CO	CH_4	H	N
1. Berechnet, entsprechend den Hochöfen der Alpenländer bei halbirtem Eisen	20·60	24·24	0·38	0·20	54·58
2. Vom Wrbna-Hochofen in Eisenerz 1873 . .	21·47	23·40	0·38	0·29	54·46
3. Hochofen Nr. 3 (Köflach-Vordernberg) E. G. in Vordernberg 1882.	—	—	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nahe 54·0

4. Hochöfen zu Clerval 10 *m* hoch	19·80	23·10	—	0·40	56·70
5. Hochöfen zu Audincourt 11 *m* hoch	19·50	25·00	—	0·40	55·10
6. schwed. Hochöfen nach R. Åckerman	16·51	26·03	0·13	0·06	55·38
					H_2O 1·88

B. Koke-Hochofen-Gase.

1. Hochofen von Clarence Works 1874	—	11·80	30·50	—	0·10	57·60
2. Hochofen von Clarence Works 1874	—	17·30	25·20	—	0·10	57·40
3. Hochofen von Ormesby 1874	—	16·00	29·50	—	0·10	54·40
4. Hochofen von Consett	—	14·70	29·30	—	0·10	55·90
5. Hochofen von Consett	—	17·50	28·10	—	0·10	54·30

Durchschnittlich enthalten die Gichtgase von Kokehochöfen bei gutem Betriebe:

Stickstoff	57 %
Kohlensäure	17·5 „
Kohlenoxyd	25·0 „
Methan (CH_4). . . .	0·4 „
Wasserstoff	0·1 „
	100·0 %

entsprechend einem Wärmeeffect von 682 Calorien per 1 *kg*. Da bei Hochöfen ein erheblicher Theil des in den Gichtgasen enthaltenen Sauerstoffes nicht aus der Luft, sondern aus den Erzen stammt, müssen dieselben (wie ja auch die vorstehenden Analysen zeigen) bedeutend weniger Stickstoff enthalten, als die Generatorgase; daß sie auch noch Kohlensäure enthalten, wird durch den Reductionsproceß im Hochofen bedingt.

Bei dem so überaus günstigen geringen Stickstoffgehalte der Gichtgase liegt der Gedanke nahe, dieselben zu r e g e n e r i r e n. Dies läßt sich leicht in einem schachtähnlichen, mit glühenden Koke gefüllten Generator durchführen, wobei sich folgender chemischer Proceß vollzieht:

$$CO_2 + C = 2\,CO$$

Gehen wir von der oben gegebenen durchschnittlichen Zusammensetzung der Hochofengichtgase aus, so brauchen wir (pro 100 *kg* der Gase) zur Reduction von 17·5 Kohlensäure zu Kohlenoxyd eben so viel Kohlenstoff, als erstere enthält, nämlich $\frac{12}{44} \times 17{\cdot}5 = 4{\cdot}77$ *kg*, wobei 11796 Calorien entwickelt werden (nämlich bei der Reaction $C + O = CO$). Um jedoch den zur Durchführung obiger Reaction erforderlichen Sauerstoff zu gewinnen, müssen wir zuerst die vorhandene Kohlensäure in Kohlenoxyd und Sauerstoff zerlegen. Zu dieser Zerlegung braucht man aber pro 1 *kg* Kohlensäure 1529 Calorien oder für 17·5 *kg* CO_2 26758 Calorien. Somit müssen dem Generator pro 100 *kg* Gichtgas 26758 — 11796 = 14962 Calorien zugeführt werden, wenn der Proceß, wie angedeutet, verlaufen soll. Man erreicht dies, indem man Anfangs den Generator anheizt, d. h. durch Eintreten von gewöhnlicher Verbrennungsluft in demselben seinen Inhalt zur theilweisen Verbrennung bringt, und so den weitaus größeren, nicht verbrennenden Antheil seiner Füllung bis zu jener Temperatur erwärmt, welche nöthig ist, um die Regenerirung der Gichtgase durchzuführen. Ist dies geschehen, so wird der Luftzutritt ganz oder wenigstens zum größten Theile abgesperrt, und nun die Gichtgase durch die glühende Kohlenschicht geleitet. Nach Passiren derselben resultirt ein Gas, das (unter der Annahme der oben mitgetheilten Gichtgaszusammensetzung) enthält:

Stickstoff	54·4 %
Kohlenoxyd	45·1 „
Methan.	0·4 „
Wasserstoff	0·1 „

und bei seiner Verbrennung per Kilogramm 1165 Calorien liefert.

Ausführlicheres hierüber enthält die sehr lesenswerthe Brochüre „die Regenerirung der Hochofengichtgase“ von Josef v. Ehrenwerth (Leipzig, bei Arthur Felix).

Statt die Verbrennungsgase durch Einwirkung von Luft-Sauerstoff auf glühende Kohlen zu erzeugen, kann man sich hierzu auch des Sauerstoffes bedienen, welcher im Wasser enthalten ist. Leitet man Wasserdampf über glühende Kohlen,

so treten; je nach der Temperatur, zwei verschiedene Reactionen auf. Bei sehr hohen Temperaturen gilt die Gleichung:

$$C + H_2O = CO + H_2$$

wodurch man ein Gas erhält mit:

Kohlenoxyd	93·33%
Wasserstoff	6·67 „
	100·00 %

das einen Heizeffect von 4158 Calorien besitzt. Bei niederen Temperaturen (von 600° C an) erfolgt die Umsetzung nach der Gleichung:

$$C + 2\,H_2O = CO_2 + 4\,H$$

und man erhält ein Gas mit:

Kohlensäure	91·67%
Wasserstoff	8·33 „
	100·00 %

und einem Heizeffecte von 2293 Calorien. Bei dazwischen liegenden Temperaturen verlaufen diese beiden Processe nebeneinander. Natürlich bestrebt man sich möglichst Gas der ersteren Art zu erzeugen.

Die industrielle Darstellung des Wassergases, sowie die Bestrebungen es praktisch zu verwerthen, sind nicht neu. Bereits im Jahre 1824 wurde von Ibbeton ein diesbezügliches Patent genommen, welches auch bis zum Jahre 1830 zur Ausführung gekommen zu sein scheint.

Im Jahre 1846 wurde Passy, eine Vorstadt von Paris, mit Wassergas beleuchtet. In ähnlicher Weise soll Narbonne durch 9 Jahre (von 1856—1865) beleuchtet worden sein.

Etwa im Jahre 1870 wurde eine Tuchfabrik in Viviers, die Zinkhütten der Vieille Montagne, das Etablissement Coquerill bei Lüttich und bis zum Jahre 1872 die Stadt Mastricht mit Wassergas beleuchtet.

Obwohl alle diese Anlagen wieder abgeworfen wurden, hat sich dennoch in der letzten Zeit das Interesse für Wassergas sehr bedeutend gehoben, indem man immer mehr zur Erkenntniß gelangte, daß unsere gewöhnliche Heizmethode mit festen Brennstoffen nicht nur unbequem, sondern auch sehr unökonomisch, und daß ihr eine zweckmäßige Gasheizung — genügend

billiges Brenngas vorausgesetzt — in jeder Beziehung weit überlegen sei.

Da die zur Zersetzung des Wassers nöthige Wärmemenge weit größer ist, als die durch die Bildung von Kohlenoxyd gelieferte, ist es selbstverständlich, daß in Kürze der Apparat so weit abgekühlt sein wird, daß der Proceß nicht weiter durchgeführt werden kann. Aus diesem Grunde arbeitet man ganz ebenso wie bei der Regeneration der Gichtgase, intermittirend, indem man einmal die Kohlenschicht durch eintretende Verbrennungsluft anheizt und dann durch Einleiten von Wasserdampf Wassergas erzeugt, wodurch die Kohlensäule wieder abgekühlt wird, worauf der Proceß sich wiederholt.

Die Menge Luft, welche angewendet werden muß, um die durch die Zersetzung des Wassers der glühenden Kohlenschichte entzogene Wärmemenge durch theilweise Verbrennung wieder zu ersetzen, läßt sich (nach Dürre) einfach wie folgt berechnen.

Bei vollkommener Oxydation des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd durch Wasserdampf allein bildet sich dem Gewichte nach 14 mal so viel Kohlenoxyd als Wasserstoff. Ein solches Gas erfordert eben zu seiner Herstellung sehr viel Wärme, da 1 *kg* Wasserstoff bei seiner Verbindung zu Wasserdampf 29161 Calorien, zu tropfbar flüssigem Wasser 34462 Calorien entwickelt, welche umgekehrt wieder nothwendig werden, wenn tropfbarflüssiges Wasser, beziehungsweise Wasserdampf wieder zerlegt werden sollen.

Wird Wasserdampf eingeführt, so werden den glühenden Kohlen zunächst 29161 Calorien (pro 6 *kg* Kohlenstoff) entzogen (da auf 6 *kg* Kohlenstoff 9 *kg* Wasserdampf mit 1 *kg* Wasserstoff kommen, und 1 *kg* Wasserstoff 29161 Calorien bei seiner Verwandlung in Wasserdampf entwickelt). Diesem Wärmeverbrauche stehen gegenüber die bei der unmittelbar sich anschließenden Oxydation des Kohlenstoffes entwickelten Wärmemengen — d. h. $6 \times 2473 = 14838$ Calorien, so daß an Wärme gebunden bleibt $29161 - 14838 = 14323$ Calorien pro 6 *kg* Kohlenstoff. Bei der Benutzung tropfbar-flüssigen Wassers sind es $34462 - 14838 = 19624$ Calorien.

Jedes Kilogramm Kohlenstoff verlangt mithin bei der Wasservergasung eine Wärmezufuhr von 2387, beziehungsweise

von 3270 Calorien, wenn keine Abkühlung erfolgen soll. Diese Zufuhr ist nur möglich durch äußere Erwärmung des Apparates (was im Großen unausführbar ist) oder durch Verbrennung einer entsprechenden Kohlenstoffmenge mit atmosphärischer Luft, endlich durch Regeneration. Die eventuell zu opfernde Kohlenstoffmenge beträgt beziehungsweise $\frac{2387}{2473}$ oder $\frac{3270}{2473}$ *kg*, je nachdem das Wasser als Dampf oder als Flüssigkeit in den Vergasungsproceß eintritt, sobald keinerlei andere Verluste vorhanden sind.

Es müssen unter letzterer Voraussetzung neben je 1 *kg* mit Wasser vergastem, mindestens 0·9 bis 1·3 *kg* Kohlenstoff mit Luft verbrannt werden, um die Zersetzungswärme des Wassers auszugleichen. Eine Verbrennung zu CO_2 kann hier nicht vorausgesetzt werden, da man brennbare Gase machen will.

Gruner, welcher in seiner metallurgie generale, I. § 71, wesentlich die gleichen Berechnungen anstellt, nimmt nun an, daß auf 1 *kg* Kohlenstoff zur Wasservergasung ca 2 *kg* Kohlenstoff zur Luftvergasung vorgesehen werden müßten, was auf 3 *kg* Kohlenstoff 1·5 *kg* Wasser und 11·5 *kg* Luft ausmacht.

Daraus berechnet sich die Zusammensetzung des Gases wie folgt

Wasserstoff	$\frac{1}{6}$ *kg*	= 0·167 *kg*
Kohlenoxydgas	$\frac{21}{3}$ "	= 7·000 "
Stickstoff	8·87	= 8·870 "
	Zusammen	16·037 *kg*

und die gewichtsprocentische Zusammensetzung mit:

Wasserstoff	1·04
Kohlenoxydgas	43·65
Stickstoff	55·31
	100·00

Gruner knüpft hieran noch die folgenden Betrachtungen:

Wenn man diese Gase mit jenen vergleicht, welche man durch unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffes mit Luft erhält, so ersieht man, daß durch Beimengen von einer gewissen Menge Wasser zur Verbrennungsluft, die Menge von Kohlenoxydgas ohne der des Stickstoffes vermehrt wird, während

eine entsprechende Menge Wasserstoff, welche jedoch selten 1% übersteigt, eingeführt wird, wenn nicht, wie dies gewöhnlich der Fall ist, das der Vergasung unterworfene Brennmateriale etwas Wasserstoff enthält.

Der Wärmeeffect des Wassergases ist gleich 1407 Calorien, welche erzeugt werden durch Verbrennung von

0·0104 Wasserstoff, wobei	358 Calorien
und 0·4365 Kohlenoxydgas, wobei	1049 „
also zusammen	1407 Calorien

erzeugt werden, während gewöhnliches Luft-Kohlenoxydgas nur 826·6 Calorien entwickelt. Man kann daher den Wärmeeffect dadurch vermehren, daß man Kohlenstoff durch Luft, welcher Wasserdampf zugesetzt wurde, vergast, man darf eben nicht mehr als $\frac{3}{2}$ *kg* Wasser auf 11·54 *kg* Luft- oder 1 *kg* Wasser auf 8·70 *kg* Luft zusetzen. Im Allgemeinen wäre es zu empfehlen, nicht mehr als 10 % Wasser zuzusetzen.

Angeführt soll noch werden, daß in Folge der Anwesenheit des Wasserstoffes die Dichte des Wassergases geringer ist, als die des Luftkohlenoxydgases, es ist dieselbe 0·96 anstatt 0·97. In Folge des Ueberschusses an Kohlenoxydgas braucht man auch mehr Luft zum Verbrennen des Wassergases, woraus folgt, daß bei gleicher Pressung der Verbrennungsluft eine größere Flamme erzeugt wird.

Die zum Verbrennen erforderliche Luft ergibt sich, wie folgt:

1·04 *kg* H erfordern .	$8 \times 1·04 =$	8·32 *kg* Sauerstoff
42·65 „ CO „	$\frac{4}{7} \times 43·65 =$	24·94 „ „
	Zusammen	33·26 *kg* Sauerstoff

oder für 1 *kg* Gas $\frac{33·26 \times 4·33}{100} = 1·44$ *kg* Luft, statt 0·85 *kg* wie beim Luftkohlenoxydgas. Ebenso sind für 1 Kubikmeter Gas $1·44 \times 0·96 = 1·38$ m^3 Luft anstatt 0·83 m^3 (beim Luftkohlenoxydgase) erforderlich.

All dieses ist jedoch nur unter der Voraussetzung richtig, daß durch Einwirkung der Luft nur Kohlenoxydgas gebildet wird, während durch besondere Umstände immer ein wechselndes Gemenge von Kohlensäure und Kohlenoxydgas erzeugt wird. Im Allgemeinen wird daher das Wassergas weniger reich

an brennbaren Stoffen sein, als wir hier annahmen. In der Praxis ist es schwer, ein Gas zu erhalten, welches per *kg* mehr als 1000 bis 1200 Calorien gibt. Dessen ungeachtet ist es sicher, daß man den Wärmeeffect des Luftgases dadurch wesentlich erhöhen kann, daß man der Verbrennungsluft Wasserdampf zusetzt.

Um die abkühlende Wirkung des Wassers zu vermindern, müßte man den Generator mit heißem Wind und überhitztem Wasserdampf bedienen, und dem Apparate eine gewisse Menge von Wärme von außen zuführen. Unter dieser Bedingung wird sich der Generator weniger abkühlen, es wird weniger Kohlensäure gebildet werden.

Ebelmen machte zu Audincourt in einem Holzkohlengasgenerator einige Vergasungsversuche mittelst Luft und Wasser. Der Wasserdampf war auf 200 bis 250° C. erwärmt, der Wind hingegen kalt. Sobald der Generator nur mit Luft allein gespeist wurde, war das Formauge hell leuchtend; wie man aber dem Winde Wasserdampf zusetzte, sank die Temperatur rasch bis zur Rothglühhitze. Die Temperatur der (Generator-) Gichtgase sank ebenfalls rasch von der Schmelzhitze des Antimons auf 240°.

Das Gewicht des eingeblasenen Wasserdampfes erreichte 13·4% der eingeblasenen trockenen Luft. Es ist dies mehr als die früher angeführte theoretische Menge, allein von den 13·4% wurde in den Gichtgasen noch 3·1% unzerlegt aufgefunden. Ferner verwendete man überhitzten Dampf, während Gruner bei seiner Rechnung von flüssigem Wasser von 0° ausging. Endlich enthielt das erzeugte Gas, wie zu erwarten war, eine gewisse Menge Kohlensäure, der eine bedeutende Wärmeentwicklung entsprach.

Die Zusammensetzung des Gases war dem Gewichte nach:

Kohlenoxydgas	30·24
Stickstoff	59·04
Kohlensäure	9·61
Wasserstoff	1·11
	100·00

In Folge des großen Gehaltes an Kohlensäure, ist der Gehalt an Kohlenoxydgas geringer als bei gewöhnlichem Gas. Der Wärmeeffect des erhaltenen Gases ist 1107 Calorien.

Daß übrigens die Praxis in Angelegenheit des Wassergases die Theorie ganz bedeutend überholt hat, zeigen die im Jahre 1870 von Dr. Bunte in München mit Koke verschiedener Provenienz angestellten Versuche (Journal f. Gasbeleuchtung.)

Es handelte sich darum die Menge des Wasserdampfes zu bestimmen, welche zur Herstellung eines guten Betriebes in Koke-Generatoren erforderlich war.

Eine directe Messung würde Ungenauigkeiten ergeben haben, abgesehen von einzelnen localen Schwierigkeiten, da nicht die ganze, durch die betreffende Rohrleitung zugeführte Dampfmenge den Generator vollständig durchstrich, sondern theils nach außen entwich, theils in der ziemlich mächtigen Aschenlage sich condensirte. Deshalb wählte man einen anderen Weg und bestimmte die Wasserdampfmenge aus der Gasanalyse.

Es ergaben nun z. B. die Versuche die folgenden Resultate für Zwickauer Kohle:

Versuchs-Nr.	*kg* Wasserdampf pro *kg* C	Gaszusammensetzung				Temperatur der Heizgase	Anmerkung
		CO_2	CO	H	N		
1	0·30	7·1	21·7	6·2	65·0	—	zu wenig Dampf
2	0·39	8·2	20·8	7·5	63·5	—	
3	0·41	7·0	21·4	7·7	64·3	750	
4	0·42	6·8	22·9	8·3	62·0	660	
5	0·70	8·0	19·0	12·6	60·4	770	guter Betrieb
6	0·76	10·8	16·2	13·6	59·4	—	
7	0·79	12·2	15·9	14·9	57·0	750	
8	0·82	13·6	15·6	16·1	54·7	—	
9	1·05	16·3	9·7	18·3	55·7	—	zu viel Dampf
10	1·17	14·8	8·5	18·1	58·6	—	

Die Versuche haben gezeigt, daß gleiche Mengen Kohle mit Luft und mit Wasser neben einander vergast werden können.

Welche Gase erhalten werden können, wenn man nicht Luft und Wasserdampf gleichzeitig, sondern abwechslungsweise den Generator passiren läßt, zeigen die Versuche, welche Bull in Seraing mit 8 seiner Apparate ausführte. Er vergaste binnen 2 Minuten durchschnittlich 3000, aber auch 6000 *kg* Koke, erzeugte also circa 9780 *kg* = 12400 m^3 Gase!

Die Versuche Bull's in Seraing ergaben die nachfolgende Zusammensetzung des Wassergases:

	I	II
Wasserstoff	32·50	37·50
Kohlenoxyd	39·00	34·50
Kohlensäure	0·50	3·00
Stickstoff	24·50	22·00
Sauerstoff	3·50	3·00
	100·00	100·00

VI. Capitel.

Gemischte Destillations- und Verbrennungsgase.

Diese letzte Gattung der gasförmigen Brennstoffe ist gegenwärtig noch die am häufigsten angewendete, und entsteht, wenn man natürliche — unverkohlte — Brennstoffe der unvollkommenen Verbrennung unterwirft.

Die chemischen Vorgänge hierbei sind folgende:

Im obersten Theile des Generators verliert die Kohle ihr hygroskopisches Wasser, sie wird getrocknet. Kommt dieselbe in die heißeren, tieferen Partien, so beginnt die trockene Destillation, als deren Producte Gase, Koke und Theer auftreten werden. Ein Theil der hierbei gebildeten Koke endlich wird ober dem Roste verbrannt und liefert die für vorerwähnte Vorgänge nöthige Wärme, wobei überdies noch brennbares Kohlenoxyd gewonnen wird.

Wir wollen diese Vorgänge an einem Beispiele näher erläutern, das wir den „chemisch-calorischen Studien über Generatoren und Martinöfen" von Hanns von Jüptner und Friedrich Toldt entnehmen, und das auch zeigt, wie derartige Versuche berechnet werden. In 4 Gasgeneratoren wurden in 11 Stunden 2927 *kg* Kohle von der nachfolgenden durchschnittlichen Zusammensetzung vergast:

Kohlenstoff	64·92%
disponibler Wasserstoff	2·50 „
Stickstoff	0·50 „
Wasser, chemisch gebunden	14·22 „
Wasser, hygroskopisch	12·42 „
Asche	5·44 „
	100·00%

Gehalt an verbrennlichem Schwefel .. 0·52 „
Heizwerth = 6374 Calorien.

An Rostdurchfall erhielt man während des ganzen Versuches 642 *kg* von nachfolgender Zusammensetzung:

Kohlenstoff	71·48%
Asche	24·13 „
Wasser	4·39 „
	100·00%

Das darin enthaltene Wasser stammt vom Ablöschen des Rostdurchfalles. Dies erfolgte nach Beendigung des Versuches, um ein weiteres Verbrennen des darin enthaltenen Kohlenstoffes möglichst zu vermeiden.

Die Menge und Zusammensetzung des producirten Theeres konnte leider nicht ermittelt werden, weshalb hievon in den nachfolgenden Berechnungen ganz abgesehen werden mußte. In den an die Berechnungen geknüpften Speculationen wurde auch die wahrscheinliche Theerausbeute in Betracht gezogen, um den an und für sich geringen Fehler des Versuches zu motiviren, aber wie schon erwähnt, wurde hierauf bei den eigentlichen Berechnungen keinerlei Rücksicht genommen.

Die Zusammensetzung der Generatorgase betrug im Mittel:

Kohlensäure	4·05	Vol. %
Sauerstoff	0·21	„ „
Kohlenoxyd	26·00	„ „
Methan	0·35	„ „
Wasserstoff	12·53	„ „
Stickstoff	56·86	„ „
Summe	100·00	„ „

woraus die nachfolgende mittlere Zusammensetzung der Generatorgase in Gewichtsprocenten resultirt:

Kohlensäure	7·03%
Sauerstoff	0·26 „
Kohlenoxyd	28·72 „
Methan	0·20 „
Wasserstoff	0·99 „
Stickstoff	62·80 „
Summe	100·00%

Mittlere Temperatur der Verbrennungsluft 23·7° C.
Relativer Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Mittel 42%

Da bei 24° C. ein Kubikmeter mit Wasserdampf gesättigter Luft 21·3 *g* Wasser enthält, enthielt also 1 m^3 der Verbrennungsluft während des Versuches $\frac{42 \times 21 \cdot 3}{100} = 8 \cdot 94$ *g* Wasser.

Mittlerer Barometerstand = 703 *mm*.

Mittlere Temperatur der Generatorgase (beim Austritte aus dem Generator gemessen) = 300° C.

Wir wollen nun vor Allem die obigen Daten auf 100 *kg* gegichtete Kohle umrechnen, hieran die Berechnung der Menge der entwickelten Generatorgase, sowie der zugetretenen Verbrennungsluft und der von derselben mitgebrachten Feuchtigtigkeit schließen und diese Resultate zu einer „chemischen Bilanz" zusammenstellen. Hieran wird sich endlich die Besprechung der einzelnen Phasen der chemischen Vorgänge im Generator schließen.

Die Zusammensetzung der 100 *kg* gegichtete Kohle zeigt die oben gegebene Durchschnitts-Analyse

Rostdurchfall: Pro 2927 *kg* Kohle hatten wir 642 *kg* Rostdurchfall von oben mitgetheilter Zusammensetzung, somit pro 100 *kg* Kohle, wenn wir den vom Ablöschen herrührenden Wassergehalt unberücksichtigt lassen, 20·96 *kg* mit:

Kohlenstoff	15·67 *kg*
Asche	5·29 „
	20·96 „

Generatorgase: 100 *kg* Kohle enthalten 64·92 *kg* Kohlenstoff.

Die entsprechende Menge des Rostdurchfalles ist 15·67 *kg*; somit wurden 64·92 — 15·67 = 49·25 *kg* Kohlenstoff vergast.

100 *kg* trockener Generatorgase enthalten nach der bereits angegebenen Analyse folgende Elementarbestandtheile:

Generatorgase		C	O	H	N	Summa
Kohlensäure	CO_2	1·9173	5·1127	—	—	7·0300
Kohlenoxyd	CO	12·3086	16·4114	—	—	28·7200
Methan	CH_4	0·1500	—	0·0500	—	0·2000
Sauerstoff	O_2	—	0·2600	—	—	0·2600
Stickstoff	N_2	—	—	—	62.8000	62·8000
Wasserstoff	H_2	—	—	0·9900	—	0·9900
Summa		14·3759	21·7841	1·0400	62·8000	100·0000

Da nun von 100 *kg* Kohle 49·25 *kg* Kohlenstoff in die Generatorgase gehen, so liefert dieses Kohlenquantum nach der vorstehenden Tabelle:

Kohlenstoff	49·25	*kg*
Sauerstoff	74·61	„
Wasserstoff	3·56	„
Stickstoff	215·15	„
zusammen	342·57	*kg*

trockenes Generatorgas, und die Zusammensetzung desselben stellt sich folgendermaßen:

342·57 *Kg* Generatorgase	C	O	H	N	Summa
CO_2	6·57	17·51	—	—	24·08
CO	42·16	56·21	—	—	98·37
CH_4	0·52	—	0·17	—	0·69
O_2	—	0·89	—	—	0·89
N_2	—	—	—	215·15	215·15
H_2	—	—	3·39	—	3·39
Summa	49·25	74·71	3·56	215·15	342·57

Verbrennungsluft: Die Generatorgase enthalten 215·15 *kg* Stickstoff; nimmt man an, daß der gesammte Stickstoff der Kohle, 0·50 *kg* in die Gase übergeht, was strenge

genommen nicht ganz richtig ist, so liefert die Verbrennungsluft 215·15 — 0·50 = 214·65 *kg* Stickstoff, woraus sich, mit Zugrundelegung der mittleren Zusammensetzung der Luft nach Jolly's Bestimmungen (77·2% Stickstoff + 22·8% Sauerstoff) die Zusammensetzung und Menge der trockenen Verbrennungsluft ergibt:

Stickstoff . .	214·65 *kg*
Sauerstoff . .	63·39 "
Summe	278·04 *kg*

Ein Kubikmeter Luft wiegt bei 0°C. und 760 *mm* Barometerstand 1·2936 *kg*. Während des Versuches hatte die Verbrennungsluft eine mittlere Temperatur von 23·7° C. bei einem mittleren Barometerstande von 703 *mm*, woraus sich das dieser Temperatur und diesem Barometerstande entsprechende Luftgewicht pro Kubikmeter nach der Formel

$$G = \frac{1 \cdot 252\, p}{1 + \alpha t}$$

mit 1·104 *kg* berechnet; somit wurden pro 100 *kg* vergichteter Kohlen 251·85 m^3 Luft benöthigt. Ein Kubikmeter Luft enthält 0·00894 *kg* Wasser; es enthalten somit die 251·85 m^3 Verbrennungsluft 2·25 *kg* Wasser; das Gewicht der feuchten Luft beträgt daher 278·05 + 2·25 = 280·29 *kg*.

Der Aschengehalt der vergichteten Kohle stellt sich pro 100 *kg* derselben auf 5·44 *kg*, während jener der entstehenden Rostdurchfallmenge 5·29 *kg* beträgt. Es zeigt sich somit ein Manko von 0·15 *kg*, welches offenbar einem Theil des verbrennlichen Schwefels entspricht (0·52 *kg*).

Ist der nicht verflüchtigte Antheil des Schwefels im Rostdurchfall als Sulfat (wahrscheinlich $Fe\,SO_4$) vorhanden geblieben, so wiegt die im Rostdurchfalle enthaltene Asche (5·29 *kg*) in Bezug auf die Asche der vergichteten Kohle (5·44—0·52 = 4·92), um 5·29—4·92 = 0·37 *kg* zu viel; welche nach unserer Annahme dem Radicale SO_4, Sulphuryl, entsprechen, und somit 0·12 *kg* Schwefel enthalten werden, während 0·52—0·12 = 0·40 *kg* Schwefel in die Gase gegangen sein müssen.

In die nachfolgende Zusammenstellung, welche eine chemische Bilanz der Vorgänge im Generator darstellt, wurde alles

(also sowohl das „chemisch gebundene“ als das hygroskopische) Wasser in seine Elemente zerlegt einbezogen.

Chemische Bilanz.

Elemente	Elementare Zusammensetzung						
	vergichtete Kohle	Rostdurchfall	vergaste Kohle *)	Verbrennungsluft	Summe (vergaste Kohle + Verbr.-L.)	Generatorgas	Differenz
Kohlenstoff	64·92	15·67	49·25	—	49·25	49·25	—
Sauerstoff	23·68	—	23·68	65·39	89·07	74·61	+ 14·46
Wasserstoff	5·46	—	5·46	0·25	5·71	8·56	+ 2·15
Stickstoff	0·50	—	0.50	214·65	215·15	215·15	—
Asche	5·44	5·04	0·40**)	—	0·40	—	—
Summa	100·00	20·71	79·29	280·29	359·58	342·57	—

Indem wir uns nun zur Besprechung der chemischen Vorgänge im Generator wenden, beginnen wir mit der Verbrennung ober dem Roste. Unmittelbar ober dem Roste findet die vollkommene Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlensäure statt; die aufsteigende Kohlensäure wird in den höheren Partien, in Berührung mit glühender Kohle größtentheils zu Kohlenoxyd reducirt; ebenso läßt sich annehmen, daß die Feuchtigkeit der Verbrennungsluft unter Bildung von CO und freiem Wasserstoffe zerlegt wird (wie beim Wassergas); endlich wird ein Theil des Sauerstoffes zur Bildung vom Sulfaten dienen.

Da die Analyse der Generatorgase pro 100 *kg* Kohle 0·89 *kg* freien Sauerstoff aufweist, derselbe jedoch weder von der Verbrennung ober dem Roste, noch von der trockenen Destillation herrühren kann, muß man annehmen, daß derselbe von in den Generator eingetretener und an den Processen unbetheiligter Luft stammt.

Es entspricht demselben 3·01 Stickstoff und 0·03 Wasser; somit haben. wir an Verbrennungsluft, welche unter dem Roste zugetreten ist:

*) inclusive hygroskopisches Wasser der Kohle.
**) Schwefel.

Sauerstoff	63·39 — 0·89 =	62·50 *kg*
Stickstoff	214·64 — 3·01 =	211·63 „
Wasser	2·25 — 0·03 =	2·22 „
	280·28 — 3·93 =	276·35 *kg*

An Rostdurchfall:

Kohlenstoff . . . . 15·67 *kg*

Asche der Kohle, abzüglich des in die Generatorgase gegangenen Schwefels 5·44 — 0·40 = . . 5·04 „

Zur Asche getretener Sauerstoff (Bildung von Sulfaten) . . . . 0·25 „

Summe 20·96 *kg*

Zur Berechnung der bei der trockenen Destillation gebildeten Kokemenge müssen wir etwas weiter ausholen. Unter der später zu besprechenden Annahme, daß bei der trockenen Destillation nur Kohlenoxyd und keine Kohlensäure gebildet werde, kommen wir zu folgenden Resultaten:

Der Wasserstoff und Sauerstoff der Kohle (sowie auch theilweise der Stickstoff) gehen in die Generatorgase. Hievon sind nach der Gasanalyse:

0·77 *kg* Wasserstoff an
0·52 „ Kohlenstoff,

ferner nach dem früher Gesagten

0·025 *kg* Wasserstoff an
0·40 „ Schwefel

und, unter der Annahme, daß sämmtlicher Stickstoff der Kohle in Ammoniak überführt wird,

0·11 *kg* Wasserstoff an
0·50 „ Stickstoff gebunden.

Die Generatorgase enthalten nach der Analyse 3·39 *kg* freien Wasserstoff, wovon nach dem Vorerwähnten 0·25 *kg* durch die Vorgänge ober dem Roste geliefert wurden. Es bleiben somit 3·14 *kg* Wasserstoff, welche von der trockenen Destillation stammen.

Der Rest des Wasserstoffes der Kohle, nämlich 4·08 — 3·445 = 0·635 *kg* wird mit 5·08 *kg* Sauerstoff zu Wasser verbunden sein, während der Rest des Sauerstoffes der Kohle, und zwar 12·64 — 5·08 = 7·56 nach dem oben Gesagten mit 5·67 *kg* Kohlenstoff Kohlenoxyd gegeben haben muß; hieraus berechnet sich die gebildete Koke-Menge zu:

Asche		5·04 *kg*
Kohlenstoff	64·92 — 6·19 =	58·73 „
	Summe	63·77 *kg*

Hieraus lassen sich nun die einzelnen Phasen des Pro-cesses wie folgt zusammenstellen:

a) Vorgänge im oberen Theile des Generators

100 *kg* Kohle geben: 12·42 *kg* Wasserdampf und
87·58 „ trockene Kohle.

b) Vorgänge im mittleren Theile des Generators (trockene Destillation der Kohle.)

87·58 *kg* trockene Kohle enthalten		geben: Koke *kg*	Generatorgase: H_2O *kg*	CO *kg*	CH_4 *kg*	H_2 *kg*	NH_3 *kg*	SH_2 *kg*
Asche	4·92	4·92	—	—	—	—	—	—
Kohlenstoff	64·92	58·73	—	5·67	0·52	—	—	—
Stickstoff	0·50	—	—	—	—	—	0·50	—
Schwefel	0·52	0·12	—	—	—	—	—	0·40
Disponibler Wasserstoff 2·50 } Chemisch gebundenes Wasser: Wasserstoff 1·58 }	4·08	—	0·635	—	0·17	3·14	0·11	0·025
Chemisch gebundenes Wasser: Sauerstoff	12·64	—	5·08	7·56	—	—	—	—
Summe	87·58	63·77	5·715	13·23	0·69	3·14	0·61	0·425

c) Vorgänge über dem Roste (theilweise Verbrennung der gebildeten Koke).

Bestandtheile in *kg*	Koke *kg*	Luft *kg*	Summe *kg*	geben: Rostdurchfall *kg*	Gase: CO_2 *kg*	CO *kg*	H *kg*	N *kg*	Zuviel in Gas u. Rostdurchfall *kg*
Asche	4·92	—	4·92	4·92	—	—	—	—	—
Kohlenstoff	58·73	—	58·73	15·67	6·57	36·49	—	—	—
Stickstoff	—	211·63	211·63	—	—	—	—	211·63	—
Schwefel	0·12	—	0·12	0·12	—	—	—	—	—
Wasser: Wasserstoff	—	0·25	0·25	—	—	—	0·25	—	—
Wasser: Sauerstoff	—	64·49	64·49	0·25	17·51	48·65	—	—	1·92
Summe	63·77	276·37	340·14	20·96	24·08	85·14	0·25	211·63	1·92

d) An den Vorgängen im Generator unbetheiligte Luft:

Stickstoff	3·02	*kg*
Sauerstoff	0·89	„
Wasserdampf	0·03	„
Summe	3·94	*kg*

Der Gesammtfehler des Versuches läßt sich am besten im Sauerstoffe und zwar wie folgt ausdrücken:

Sauerstoffmenge in den Generatorgasen und dem Rostdurchfalle	91·01	*kg*
Sauerstoffmenge in der Kohle nnd der Verbrennungsluft	89·09	„
Sauerstoffüberschuß in den Generatorgasen und im Rostdurchfalle	1·92	*kg*

Hieraus ergibt sich die vollständige Zusammensetzung der Generatorgase pro 100 *kg*. vergichtete Kohlen:

Kohlensäure	24·08	*kg*
Kohlenoxyd	98·37	„
Methan	0·69	„
Wasserstoff	3·39	„
Ammoniak	0·61	„
Schwefelwasserstoff	0·425	„
Stickstoff	211·63	„
Unbetheiligte Luft	3·90	„
Wasser	18·165	„
Summe	361·260	*kg*

Zur weiteren Erklärung der oben gegebenen Zusammenstellung möge Folgendes dienen:

Gehen wir auf die früher berechneten 0·40 *kg* Schwefel zurück, welche hauptsächlich als Schwefelwasserstoff in den Generatorgasen enthalten sein werden, so sind mit denselben 0·025 *kg* Wasserstoff verbunden.

Nimmt man an, daß der Stickstoff der Kohle vollständig in Ammoniak umgewandelt wurde, was zwar nicht strenge richtig ist, so sind hierzu 0·11 *kg* Wasserstoff erforderlich. Da die Voraussetzung ihre Berechtigung haben dürfte, daß sowohl der Wasserstoff des Schwefelwasserstoffes (0·025 *kg*), als der des Ammoniaks (0·11 *kg*) dem disponiblen Wasser-

stoffe der Kohlen entstammt, so müssen wir diese Wasserstoffmenge (0·025 + 0·11 = 0·135 *kg*) von den auf p. 202 als Manco in den Generatorgasen nachgewiesenen 2·15 *kg*. Wasserstoff abziehen; es bleiben somit 2·015 *kg* Wasserstoff, die mit 16·12 *kg* Sauerstoff zu 18·14 *kg* Wasser verbunden sein werden.

Nach der Tabelle auf p. 202 weisen wir jedoch bloß 14·46 *kg* Sauerstoff, die für diesen Fall disponibel sind, nach; es wird daher ein Sauerstoffüberschuß in den Gasen von 16·12 — 14·46 = 1·66 *kg* resultiren. Hierzu müssen wir noch die 0·25 *kg* Sauerstoff des Rostdurchfalles zuschlagen, und erhalten somit einen Gesammtsauerstoff-Ueberschuß der Gase von 1·91 *kg*, was genau mit dem oben ausgewiesenen übereinstimmt.

Bemerken wir noch, daß von einer analytischen Bestimmung von Ammoniak, Cyan &c. abgesehen wurde, da die Menge dieser Verbindungen eine sehr geringe ist, und daher die Beobachtungsfehler bei diesen Bestimmungen sehr groß ausgefallen wären. Ueberdies ergaben frühere Versuche bei einem Generator, bei welchem in 24 Stunden 6515 *kg* Braunkohle vergichtet wurden, in dieser Zeit 22·46 *kg* Ammoniak oder pro 100 *kg*, Kohle 0·344 *kg* Ammoniak (gegen 0·61 *kg* in unserem Falle).

Die Sauerstoffmenge von 1·91 *kg* vereinigt sämmtliche Beobachtungsfehler in sich, und dürfte sich noch außerdem verringern, wenn wir die stattfindende Theerbildung, welche gerade nicht den kleinsten Versuchsfehler ausmachen dürfte (bei einem ähnlichen Generator ist seinerzeit eine Reihe von Bestimmungen der Theermenge durchgeführt worden, welche im Mittel 0·8% des vergichteten Kohlengewichtes, exclusive Theerwasser ergaben; Rudolf Wagner gibt in seiner Technologie die Theermenge mit 3% im Durchschnitt an; siehe übrigens auch das an anderen Stellen dieses Buches hierüber Mitgetheilte) hätten berücksichtigen können.

Wir haben in unseren Betrachtungen, wo wir beide Kokebildungsperioden Müller's (s. p. 183) in eine zusammenzogen, angenommen, daß der ganze Stickstoff der Kohle in Ammoniak umgewandelt worden wäre. Nach Müller und Anderen dient jedoch blos ungefähr 1/6 desselben, also in unserem Falle

nur 0·10 *kg* Stickstoff zur Ammoniakbildung, wir hätten demnach hierfür 0·02 *kg* Wasserstoff gegen 0·11 *kg* Wasserstoff verbraucht, hätten daher von dem p. 202 ausgewiesenen Wasserstoffmanco von 2·15 *kg* die 0·02 *kg* Wasserstoff des Ammoniaks, sowie die 0·025 *kg* des Schwefelwasserstoffes, zusammen 0·045 *kg* in Abzug zu bringen, wodurch sich das Wasserstoffmanco auf 2·15—0·045 = 2·105 *kg* reduciren würde. Dem entspricht 16·84 *kg* Sauerstoff zur Wasserbildung. Es würde sich somit das ausgewiesene Sauerstoffmanco in einen Sauerstoffüberschuß in den Generatorgasen von 16·84 — 14·46 = 2·38 *kg* umwandeln.

Nehmen wir an, daß der Kohlenstoff unseres Rostdurchfalles die Zusammensetzung $C_{15}H_4O$ hätte, wie sie Müller für nicht vollständig vergaste Koke angibt (was bezüglich des Sauerstoffes und Wasserstoffes jedenfalls zu hoch gegriffen ist) so enthielt derselbe pro 100 *kg* vergichteter Kohlen

	14·10 *kg* Kohlenstoff
	1·25 „ Sauerstoff
	0·32 „ Wasserstoff
oder zusammen	15·67 *kg* verbrennliche Stoffe des Rostdurchfalles.

Dadurch würde die Kohlenstoffmenge des Rostdurchfalles um 1·57 *kg* kleiner werden, welche Menge eigentlich zur vergasten Kohle zuzuschlagen wäre. Greifen wir auf vorerwähnte Angaben der Theerbildung zurück, so finden wir die Zahlen 0·8% der vergasten Kohle nach eigenen früheren Bestimmungen, 3% nach Wagners Technologie als gebildete Theermenge. Das Mittel dieser Zahlen, 1·9%, in unsere Rechnung einbezogen, unter Zugrundelegung der Zusammensetzung des Theeres von etwa 80% Kohlenstoff und 20% Wasserstoff würde die Annahme gestatten, daß der fehlende Kohlenstoff im Rostdurchfalle gerade der im Theer enthaltenen Kohlenstoffmenge entspräche (1·57 *kg* Kohlenstoff + 0·39 *kg* Wasserstoff = 1·96 *kg* Theer). Der Wasserstoff des Rostdurchfalles und Theeres muß aber in den Gasen fehlen; es reducirt sich somit unser früheres Wasserstoffmanco von 2·105 *kg* auf 1·715 *kg* und verwandelt sich daher neuerdings der Sauerstoffüberschuß von 2·38 *kg* in ein Sauerstoff-Manco in den Generatorgasen von

3·12 — 2·38 *kg* = 0·74 *kg*, welche Sauerstoffmenge dem Sauerstoffgehalte des brennbaren Antheiles des Rostdurchfalles (1·25 *kg*) entsprechen sollte. Der Gesammtfehler unserer chemischen Bilanz würde sich somit auf 1·25 — 0·74 = 0·51 *kg* Sauerstoffüberschuß in den Generatorgasen stellen, welcher sich übrigens noch weiter reduciren ließe, da ja 0·50 — 0·10 = 0·40 *kg* Stickstoff aus der Kohle statt aus der Verbrennungsluft stammen. Wir glauben durch das bisherige schon gezeigt zu haben, daß die anscheinend ziemlich große Sauerstoffdifferenz von p. 205 recht gut zu motiviren ist.

Firle fand in ungereinigtem Leuchtgase aus Berlin 7·21 Volum-Procente Kohlenoxyd und 3·72 Volum-Procente Kohlensäure. Nach einer anderen Quelle ergaben jedoch 100 *kg* westphälische Kohlen bei der trockenen Destillation in der

	m^3			Vol. %			Vol. %
1. Stunde	12·4	Gas	mit	0·5	CO_2	und	3·57 CO
2. „	8·5	„	„	0·5	„	„	4·27 „
3. „	4·8	„	„	0·5	„	„	2·46 „
4. „	1·3	„	„	—	„	„	1·69 „
im Ganzen	27·0	Gas	mit	0·475	CO_2	und	3·502 CO

Geht man von der Annahme aus, daß die Destillationsgase auf 2 Volumen CO je 1 Volum CO_2 enthalten hätten, so ergäbe das ein Gewichtsverhältnis von:

$$\frac{2 \times 7}{1 \times 11} = \frac{14}{11} = \frac{\text{Kohlenoxyd}}{\text{Kohlensäure}}$$

Um einen recht hohen Kohlensäurewerth, also bei unserer Zusammenstellung einen recht großen Fehler zu erhalten, wollen wir im Folgenden das Gewichtsverhältnis $\frac{CO}{CO_2} = 1$ setzen.

Wir haben in der obigen Tabelle angenommen, daß bei der trockenen Destillation von 100 *kg* Kohle 13·23 Kohlenoxyd mit 5·67 *kg* Kohlenstoff und 7·56 *kg* Sauerstoff entwickelt worden wären. Hätte mit derselben Sauerstoffmenge Kohlensäure und Kohlenoxyd in gleichen Gewichtsmengen gebildet werden sollen, so hätten entstehen müssen:

					Sauerstoff
5·82 *kg*	Kohlenoxyd	mit 2·50 *kg*	Kohlenstoff	und 3·32 *kg*	„
5·82 „	Kohlensäure	„ 1·58 „	„	„ 4·24 „	„
i. 11·64 „	$CO + CO_2$	„ 4·08 „	„	„ 7·56 „	„

Wir hätten also gegen früher das Gewicht des bei der rockenen Destillation der Kohle in Form von Kohlensäure und Kohlenoxyd entweichenden Kohlenstoffes um 1·59 *kg* kleiner gefunden.

Würde man statt dem früher angenommenen Verhältniß $\frac{CO}{CO_2} = 1$, welches außergewöhnlich hoch wäre, die bei unserem Versuche thatsächlich existirende Verhältnißzahl aus der Analyse der Generatorgase $\frac{28·72}{7·03} = 4·09$ in Rechnung ziehen, so würde der vorhin gerechnete Fehler von 1·59 *kg* auf den verschwindenden Fehler von 0·39 *kg* herabsinken.

Wir wollen hier nur noch beifügen, daß es für die bei derartigen Untersuchungen für die praktischen Zwecke der Prüfung von Feuerungsanlagen hieran zu knüpfenden calorischen Berechnungen ziemlich gleichgiltig ist, ob man als Resultat der trockenen Destillation in den dabei entstehenden Gasen CO und CO_2 oder nur CO allein annimmt, da doch schließlich immer die durch die Gasanalyse ermittelte Zusammensetzung der Generatorgase maßgebend sein wird.

Greifen wir nochmals auf unseren Sauerstoffüberschuß von 1·92 *kg* (siehe die Tabelle auf p. 204) zurück, welcher, wie schon erwähnt, die Summe sämmtlicher Beobachtungsfehler in sich vereinigt, so erscheint derselbe bei Berücksichtigung der ganzen Gasquantität, auf welche er, da der fragliche Sauerstoff einen Gasbestandtheil bildet, bezogen werden muß, verschwindend.

		Vol. %	Gewichts %
Gesammt-Gasmenge	361·26 *kg* . . .	100	100
Sauerstoffdifferenz	1·92 „ . . .	0·45	0·53

Hätten wir statt der gewählten Luftzusammensetzung nach Jolly's Bestimmungen ein anderes Verhältnis N : O angenommen, so wäre die Sauerstoffdifferenz möglicher Weise kleiner geworden. Bei der Annahme, daß die ganze Sauerstoffdifferenz auf die gewichtsprocentische Luftzusammensetzung zu-

rückzuführen wäre, würde sich das Verhältnis N : O mit 76·68 : 23·32 berechnen. Auch hieraus ist zu ersehen, daß dieser Gesammtfehler ein relativ kleiner zu nennen ist; Gruner z. B. nimmt bei seinen Berechnungen ein Verhältnis 76·9 : 23·1 an, und würde sich bei dieser Annahme die Sauerstoffdifferenz unseres Versuches von 1·92 *kg* auf 0·85 *kg* reduciren.

Einerseits um zu zeigen, welchen Heizwerth die gewöhnlichen Generatorgase besitzen, andererseits aber auch um ein Beispiel über die Art derartiger Rechnungen zu geben, wollen wir den Heizeffect der Generatorgase und zwar hier bezogen auf 100 *kg* gegichtete Kohlen berechnen:

		Calorien
CO verbrennt zu CO_2 und liefert	$98·37 \times 2403 =$	236383·1
CH_4 verbrennt zu CO_2 und H_2O und liefert	$0·69 \times 13063 =$	9013·5
H_2 verbrennt zu H_2O und liefert	$3·39 \times 34462 =$	116826·2
H_2S verbrennt zu H_2O und SO_2 und liefert.	$\left[0·025 \times 34462 + 0·40 \times 2500 - \frac{0·025 \times 4510}{2}\right]$ . . . . $=$	1805·2
Verbrennungswärme von 361·26 *kg* Generatorgas (entsprechend 100 *kg* chargirte Kohle). . . .		364028·0

Hieraus berechnet sich einfach der Brennwerth von 1 *kg* des obigen Generatorgases zu $\frac{364028·0}{361·26} = 1008$ Calorien.

VII. Capitel.

Die atmosphärische Luft.

Die atmosphärische Luft bildet das wichtigste und häufigst angewendete Oxydationsmittel der Industrie. Sie besteht der Hauptmasse nach aus Stickstoff und Sauerstoff und enthält daneben noch geringe Mengen Wasserdampf und Kohlensäure.

Im Durchschnitte nimmt man an, daß trockene und kohlensäurefreie atmosphärische Luft enthält:

79 Vol.% Stickstoff
21 „ „ Sauerstoff.

Im Mittel rechnet man den Gehalt der gewöhnlichen Luft an:

Wasserdampf mit 0·84 Volum%
Kohlensäure „ 0·04 „ „

Die volumpercentische Zusammensetzung der gewöhnlichen atmosphärischen Luft stellt sich somit auf:

Stickstoff	78·35	Vol. %
Sauerstoff	20·77	„ „
Wasserdampf	0·84	„ „
Kohlensäure	0·04	„ „
	100·00	Vol. %

Dem Gewichte nach ist die trockene und kohlensäurefreie atmosphärische Luft durchschnittlich zusammengesetzt aus

77 Gew. % Stickstoff und
23 „ „ Sauerstoff

Gruner nimmt die durchschnittliche Zusammensetzung der reinen atmosphärischen Luft an mit:

Sauerstoff	23·10%
Stickstoff	76·90 „
	100·00%

woraus sich das Verhältniß des Sauerstoffes zum Stickstoffe ergibt wie 1 : 3·33.

Ob das Verhältniß des Sauerstoffes zum Stickstoffe in der atmosphärischen Luft ein constantes ist oder nicht, ist heute noch nicht vollkommen entschieden. Da diese Frage jedoch gerade für uns von ziemlicher Wichtigkeit ist, theilen wir eine Reihe von Angaben über die Luftzusammensetzung mit:

Gay-Lussac und Humboldt:

Sauerstoff = 20·9 Vol. % (Minimum)
= 21·2 „ „ (Maximum)
= 21 „ „ (Mittel)
} Paris, 1804,

Dumas und Boussignault:

Sauerstoff = 23·01 Gw. %, Mittel aus 6 Bestimmungen, Paris, April 1841.

Lewy:

Sauerstoff = 22·998 Gew. %, Mittel, Kopenhagen,
= 23·01 „ „ Meeresküste,
} Nov., Dec. 1841.

Stas:

Sauerstoff = 23·04—23·08 Gew. % in 12 Analysen, } Brüssel 1842.
= 23·11 „ % „ 12 „
= 23·14 „ % „ 12 „

Marignac:

Sauerstoff = 23·01 } Genf, Jänner und Februar 1842.
= 23·0
= 22·97

Brunner:

Sauerstoff = 23·0 } Bern, Juli 1841.
= 22·89
= 22·97

Verver:

Sauerstoff = 22·998 Gew. % Mittel, Gröningen.

Bunsen:

Sauerstoff = 20·924 Vol. % Mittel aus 28 Analysen } Marburg.
= 20·840 „ „ Min. „ „

Régnault:

Sauerstoff						
= 20·913	Vol.	%	Min.	aus	100 Analysen,	Paris.
= 20·999	„	„	Maxim.			
= 20·918	„	„	Min.	„	9 „	Lyon.
= 20·966	„	„	Maxim.			
= 20·908	„	„	Min.	„	30 „	Berlin.
= 20·998	„	„	Maxim.			
= 20·916	„	„	Min.	„	10 „	Madrid.
= 20·982	„	„	Maxim.			
= 20·909	„	„	Min.	„	23 „	Genf und Chamounix.
= 20·993	„	„	Maxim.			
= 20·912	„	„	Min.	„	17 „	Hafen v. Toulon.
= 20·982	„	„	Maxim.			
= 20·918	„	„	Min.	„	5 „	Atlantischer Ocean.
= 20·965	„	„	Maxim.			
= 20·960	„	„	Min.	„	2 „	Ecuador.
= 20·949	„	„	„	„	2 „	Gipfel des Pichincha.
= 20·988	„	„	„			
= 20·860	„	„	Min.	„	„ „	Südpolarsee.
= 20·940	„	„	Maxim.			

Lewy:

Sauerstoff = 21	Vol. % . . .	Paris.
= 20·89	„ „ . . .	Havre.
= 20.96—21·05	„ „ . . .	atlantischer Ocean.
= 20·98—21·04	„ „ . . .	Neu-Granada.
= 20·99—21·03	„ „ . . .	Bogota.
= 20·33	„ „ . . .	Neu-Granada, (zur Zeit, wenn der Boden in ausgebehntem Maße durch Brennen fruchtbar gemacht wird.)

Régnault:

Sauerstoff = 20·46	Vol. %	Meerbusen von Bengalen.
= 20·4	„ „	Hafen von Algier.
= 20·39	„ „	am Ganges bei Calcutta.

Régnault glaubt daß der Sauerstoffgehalt der Luft unter gewöhnlichen Umständen zwischen 20·9 und 21·0 Volumprocenten schwankt, daß er aber in tropischen Gegenden manchmal auch noch unter die Minimalgrenze sinkt (z. B. im Golf von Bengalen, siehe oben.)

Nach den Untersuchungen vom Angus Smith enthält die Seeluft und jene der Haiden des schottischen Hochlandes gewöhnlich 21 % Sauerstoff, während in größeren Städten, namentlich bei Nebel der Gehalt bis auf 20·82 % sinkt und in Bergwerken gar nur 20·26 % beträgt.

Nach Ph. v. Jolly wurde bei Föhn (äquatoriale Luftströmung) der geringste, unter dem Polarstrome der größte Sauerstoffgehalt beobachtet.

Der genannte Forscher fand in den Jahreu 1875 bis 1876 durch Wägung im Minimum 20·477 %
„ Maximum 20·965 %
1877 durch Messung im Minimum 20·53 %
„ Maximum 21·01 %

Interessant sind die Beziehungen, welche zwischen dem Sauerstoffgehalte der Luft und deren Kohlensäuregehalt stattfinden, und wie sie aus Frankland's Analysen der Luft von schweizer Bergen resultiren:

Höhe über dem Meere	Volumen CO_2 in 10000 Vol. Luft	Sauerstoffgehalt der Luft, Volum %
11 000 Fuß	11	20·8
3 000 „	6·3	20·89



Der Sauerstoff der atmosphärischen Luft ist nun nicht immer durchaus gewöhnlicher Sauerstoff, sondern häufig tritt ein Theil desselben als Ozon auf. Obwohl dieser Modification des Sauerstoffes bei Heizversuchen keine Beachtung geschenkt wird, müssen wir dieselbe doch einer etwas näheren Betrachtung unterziehen, einmal, weil das Ozon weit energischer oxydirend wirkt als gewöhnlicher Sauerstoff, und weil der Uebergang des einen in das andere mit einer gewissen Wärmetönung verbunden ist, und endlich auch um durch die nachfolgenden Betrachtungen die Möglichkeit zu bieten, die Größe des Fehlers beurtheilen zu können, welcher dadurch hervorgerufen wird, daß man die Existenz des Ozons unberücksichtigt läßt.

Wird gewöhnlicher Sauerstoff in Ozon umgewandelt, so verkleinert sich, wie Andrews und Tait gezeigt haben, sein Volum. Mit Hilfe eines eigenen Apparates gelang es ihnen eine Volumsverminderung von $^1/_{12}$ des Ganzen zu erzielen. Wurde das Gas auf 300° erhitzt, so wurde das gebildete Ozon wieder zerstört.

Soret hat nun die Thatsache, daß verschiedene ätherische Öle das Ozon absorbiren, ohne es vorher zu zersetzen, dazu benützt, die Constitution des Ozons zu ermitteln. Er fand, daß die Volumverminderung, welche durch Absorption in diesen Ölen entsteht, genau zweimal so groß ist, als die Volumsvergrößerung, die man beobachtet, wenn Ozon durch Hitze zerstört wird. Eine Reihe von drei Versuchen ergab, daß für je 19·3 cm^3 Ozon, welche das Öl absorbirte, sich beim Erhitzen 9·47 cm^3 (anstatt 9·65, was gerade die Hälfte wäre) gewöhnlicher Sauerstoff bildeten. Da nun die Moleküle des gewöhnlichen Sauerstoffes aus 2 Atomen bestehen, müssen offenbar die Moleküle des Ozon je drei Sauerstoffatome enthalten. Bei seiner Bildung verdichten sich nämlich 3 Raumtheile oder $1^1/_2$ Moleküle, das sind 3 Atome gewöhnlicher Sauerstoff zu 2 Raumtheilen, d. i. einem Moleküle Ozon, die beim Erhitzen wieder das ursprüngliche Volum annehmen, während sie nach der Absorption mit ätherischen Ölen verschwinden.

Der Ozongehalt der atmosphärischen Luft wechselt sehr, ist aber immer ein sehr geringer. Zenger fand denselben in 100 Litern Luft zu 0·001 bis 0·002 Milligramm. Unter

iesen Umständen ist es allerdings klar, daß das Vorhanden-
ein oder der Mangel von Ozon für unsere Zwecke direct
ar keinen Einfluß ausübt. Möglicher Weise existirt jedoch ein
ndirecter Einfluß, und zwar in nachfolgender Weise:

Wie schon erwähnt wirkt das Ozon kräftig oxydirend, es
st also sehr viele Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß wenn die
Luft viel Ozon enthält und mit leichter oxydirbaren Körpern in
Berührung kommt, diese unter Verschwinden des Ozons oxy-
dirt werden. Da nun in erster Linie kohlenstoffhältige Körper
ich der Oxydation darbieten werden, muß der Ozongehalt
der Luft in dem angenommenen Falle eine Steigung des
Kohlensäure-Inhaltes derselben bewirken. Dauern nun gleich-
zeitig die Ursachen fort, welche die Ozonisirung des Luft-
auerstoffes bewirken, so wird natürlich der Kohlensäuregehalt
der Luft merklich größer, der Sauerstoffgehalt derselben aber
merklich kleiner werden müssen, als es gewöhnlich der Fall ist.
Dies stimmt aber auffallend mit den oben erwähnten Beob-
achtungen Frankland's überein, und bietet die wissen-
schaftliche Erklärung derselben.

Der Wassergehalt der atmosphärischen Luft ist ein
sehr variabler und die Art seiner Bestimmung werden wir im
III. Theile eingehend besprechen. Hier genügt es zu er-
wähnen, daß ein bestimmtes Luftvolum nur eine gewisse
Wassermenge (als Maximum) aufnehmen kann, und daß diese
Menge von der Temperatur abhängt.

So enthält 1 m^3 mit Wasserdampf gesättigter Luft:

bei	— 10°	2.284 *g*	Wasser	bei	+ 25° —	22·843 *g*	Wasser
„	0°	4.871 „	„	„	30	30·095 „	„
„	+ 5°	6.795 „	„	„	35	39·252 „	„
„	10°	9.362 „	„	„	40	50·700 „	„
„	15°	12.746 „	„	„	100	588·730 „	„
„	20°	17.157 „	„				

Es kommt übrigens eben so selten vor, daß die Luft mit
Feuchtigkeit gesättigt ist als daß der Flüssigkeitsgehalt derselben
nur $^1/_{10}$ der zur Sättigung erforderlichen Menge beträgt.

Der Kohlensäuregehalt der Luft ist ein so kleiner,
daß er unmittelbar für uns gar keinen Werth hat; er schwankt
nämlich etwa zwischen 0·04 bis 0·06 %₀. Reiset fand den-
selben durchschnittlich (in Dieppe) bei 0° und 760 *mm*

Druck zu 2·942 Vol. in 10,000 Vol. Luft und die Schwankungen waren sehr gering. In Räumen, wo sich viele Menschen und Thiere aufhalten, oder wo viele kohlenstoffhältige Körper verbrannt werden, steigt derselbe natürlich bedeutend. So fand Leblanc in dem Hörsaale der Chemie in der Sorbonne in Paris nach der Vorlesung 19·9 Vol. Sauerstoff und 0·7 Vol. Kohlensäure in 100 Vol. der trockenen Luft; im Pferdestalle der école militaire 20·1 Vol. Sauerstoff und 0·7 Vol. Kohlensäure; Dr. Reck in Braunschweig in den Stadtschulen nach 3/4 bis 1/2 stündigem Aufenthalte der Kinder 0·4 bis 0·5 Vol. % Kohlensäure. Nach Pettenkoffer erhebt sich der Gehalt der Luft an Kohlensäure in mit Menschen überfüllten Räumen bis gegen 0·4 Vol. %, in überfüllten, dicht geschlossenen Schlafzimmer noch höher. Reck fand in dem Schlafsaale einer Kaserne am Morgen 0·5 bis 0·9 Vol. % Kohlensäure.

Die nachfolgende Zusammenstellung mag über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre noch nähere Aufschlüsse geben:

Name des Beobachters	Ort	In 1000 Vol.-Thl. Luft Vol.-Thl. CO_2				
		Mittel	Schwankungen		Differenz	
			Minimum	Maximum	Absolut	%
T. E. Thorpe 1865/6	über der irischen See	3·08	2·66	3·22	0·56	21·0
	über dem atlantischen Ocean	2·95	2·66	3·36	0·70	26·3
	in Brasilien, am Rande eines Urwaldes	3·28	3·07	3·48	0·41	13·3
F. Schulze 1868/71	Rostock	2·92	2·25	3·44	1·19	52·9
	1868, October bis Decemb.	2·89	2·25	3·44	1·19	52·9
	1869 —	2·86	2·45	3·40	0·95	38·8
	1870 —	2·90	2·59	3·33	0·74	28·6
	1871 Juli	3·01	2·67	3·50	0·83	31·1
W. Henneberg 1872	Weende	3·20	3·03	3·38	0·35	11·5
Risler 1872/3	Calèves bei Nyon, Schweiz	3·03	2·53	3·49	0·96	37·9
J. Reiset 1873	Dieppe	2·94	2·82	3·10	0·28	9·9
J. Fittbogen und P. Hässelbarth 1874/5	Dahme, Brandenburg	3·34	2·06	4·17	2·11	102.4
F. Farsky 1874/5	Tabor, Böhmen	3·43	3·02	4·07	1·05	34·8
G. Wolffhügel 1874/5	München, am Boden	3·42	2·00	5·70	3·70	185·5
	in 4·3 m Höhe	3·40	2·20	6·50	4·30	195·0

Name des Beobachters	Ort	In 1000 Vol.-Th. Luft Vol.-Th. CO_2				
		Mittel	Schwankungen		Differenz	
			Minimum	Maximum	Absolut	%
A. Levy 1877/83	Montsouris b. Paris 1877	2·84	2·67	3·44	0·77	28·8
	1878	3·45	3·22	3·59	0·37	11·5
	1879	3·29	2·45	3·58	1·18	46·1
	1880	2·70	2·43	2·92	0·49	20·2
	1881	2·77	2·66	2·97	0·31	11·7
	1882	2·86	2·58	3·11	0·53	20·5
	1883	2·85	2.68	3·17	0·49	19·8
	im Durchschnitt	2·97	2·67	3·25	0·58	21·7
P. Truchot 1876	Clermont-Ferrant im Winter					
	bei gutem Wetter	3·30	2·1	4·6	2·5	118·6
	bei Regenwetter	4·60	4·2	5·1	0·9	21·4
	bei Schneefall	5·60	4·4	8·7	4·3	97·7
H. Macagno 1879	Palermo	3·60	2·00	7·60	5·60	280·0
J. v. Fodor 1877/9	Budapest 1877	4·14	3·79	4·86	1·07	28·0
	1878	3·74	3·34	4·15	0·81	24·2
	1879	3·79	3·47	4·46	0·99	28·5
A. Müntz und E. Aubin 1881	Paris	2·85	2·88	4·22	1·34	46·5
	Gipfel des Pic du midi	2·86	2·69	3·01	0·32	11·9
E. Ebermayer 1883/4	Forst Karsten bei Planegg (bayrische Hochebene)					
	Fichtenjungholz, 30 jährig	3·32	2·70	4·13	1·43	52·9
	" " 60 "	3·18	2·65	4·10	1·45	54·7
	im Freien	3·20	2·52	4·50	1·98	78·5
	Forstamt Tölz (bayr. Geb.)	3·22	2·69	3·64	0·95	35·3
	Ramsau, Rosenhain u. Hohenschwangau (b. G.) 1884	3·56	2·69	5·36	2·67	99·2
	Schottenhof bei Kehlheim	3·45	2·73	5·49	2·76	101·1

Im Vorbeigehen wollen wir noch erwähnen, daß die atmosphärische Luft sehr geringe Mengen von Wasserstoffhyperoxyd, Ammoniumnitrat und Ammoniumnitrit enthält, und wollen noch anführen, daß speziell der Ammoniakgehalt der Luft ein ziemlich schwankender ist. Angus Smith fand in 1000 Gewichtstheilen Luft folgende Mengen von Ammoniak:

Innelan. . . . . 0·04
London . . . . 0·05
Glasgow . . . . 0·06
Manchester. . . . . 0·10
in der Nähe eines Misthaufens 0·26.

Da der Stickstoffgehalt der Luft für Feuerungsanlagen ein ziemlich unangenehmer Ballast ist, hat man sich bestrebt, denselben entweder ganz zu entfernen oder doch möglichst zu verringern.

Ersteres erreicht man auf chemischem Wege, durch Darstellung von Sauerstoff und Regeneration der Sauerstoff abgebenden Stoffe. Hierher gehören die folgenden Vorschläge:

Läßt man nach H. Deville einen dünnen Strahl concentrirter Schwefelsäure in eine glühende, mit Ziegelstücken gefüllte Retorte fließen, so zersetzt sich dieselbe nach folgender Gleichung:

$$H_2SO_4 = SO_2 + H_2O + O$$

Je 55 Gramm concentrirte Schwefelsäure geben 6 Liter Sauerstoff. Um die entstandene schweflige Säure zu entfernen, leitet man die Gase durch einen mit Koke, die von Wasser berieselt wird, gefüllten Thurm. Die schweflige Säure löst sich im Wasser auf, und kann wieder zur Fabrikation von Schwefelsäure benützt werden.

Boussignault schlug vor, Ätzbaryt in einem Luftstrom zur dunklen Rothgluth zu erhitzen, wobei er sich in Baryumhyperoxyd (BaO_2) verwandelt. Erhitzt man dieses stärker, so zerlegt es sich wieder in Sauerstoff und Ätzbaryt, worauf der Proceß neuerdings wiederholt werden kann. Leider verliert der Ätzbaryt nach längerem Gebrauche die Eigenschaft, sich mit Sauerstoff verbinden zu können.

Nach Tessié du Motay endlich gibt mangansaures Kali (K_2MnO_4), wenn man es mit Wasserdampf erhitzt, Sauerstoff ab, wobei sich ein Rückstand bildet, der aus Ätzkali und einem niederen Oxyde des Mangans besteht. Erhitzt man den Rückstand an der Luft, so verwandelt er sich unter Sauerstoffaufnahme neuerdings in Kalium-Manganat, worauf man wieder zur Sauerstoffabscheidung schreiten kann.

Die zweite Absicht — den Stickstoffgehalt der atmosphärischen Luft zu verringern — ist für praktische Zwecke aus dem Grunde wichtiger, weil wir kein Ofenbaumateriale besitzen, das einer mit reinem Sauerstoff genährten Flamme auf die Dauer Widerstand leisten würde.

Wir beschränken uns hier darauf, zu erwähnen, daß ʒaul Margis in Paris Luft durch Taffetsäcke saugt, welche ı eine Lösung von 50 Gewichtstheilen rohem Kautschuk in 00 Gewichtstheilen Schwefelkohlenstoff, 20 Gewichtstheilen lkohol und 10 Gewichtstheilen Äther getaucht worden waren.

Nach Passiren eines solchen Taffet-Dialysators enthält ie Luft 40% Sauerstoff, nach Passiren des zweiten 60%, inter dem dritten Dialysator 80% und endlich nach Passiren er vierten Taffet-Membran 95% Sauerstoff.

III. Abtheilung.

Die Apparate und Messungen, welche bei Heizversuchen in Anwendung kommen.

Dieser Theil enthält die Beschreibung der bei Heizversuchen in Anwendung kommenden wissenschaftlichen Apparate, ihre Handhabung und jene Berechnungen, welche zur Erlangung der Grunddaten erforderlich sind, auf welche dann die eigentliche Berechnung des Heizversuches basirt wird.

Da schon in den beiden vorhergehenden Abschnitten einiges Hierhergehörige besprochen wurde, bleibt uns hier nur zu behandeln:

1. Die Temperaturmessungen;

2. die Messungen von Wärmemengen also calorimetrische Messungen;

3. die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft und des Luftdruckes;

4. die Gasanalyse;

5. sonstige Beobachtungen, wie Wägungen, Flüssigkeitsmessungen 2c.

Die Zusammenstellung der einzelnen Daten, sowie die darauf begründete Berechnung der Heizversuche endlich wird erst im vierten Theile dieses Buches, und zwar, weil es so am instructivsten sein dürfte, in einzelnen Beispielen gelehrt werden.



I. Capitel.

Temperaturmessungen — Thermometer, Pyrometer.

Die zu Temperaturmessungen dienenden Instrumente unter-
[s]cheidet man aus praktischen Gründen in solche, welche zur
[M]essung niederer Temperaturen dienen, und die man Ther-
[m]ometer nennt, und in solche, mit welchen höhere Tempera-
[tu]ren gemessen werden sollen, und welche als Pyrometer
[be]zeichnet werden.

Die eigentlichen Thermometer näher zu beschreiben, dürfte
[w]ohl überflüssig sein. Je nach ihrer Füllung unterscheidet man
[si]e in Weingeist- und in Quecksilber-Thermometer. Wichtiger
[is]t jedoch ihre Unterscheidung nach der Temperatur-Skala, welche
[a]n denselben angebracht ist.

Man hat heute in den verschiedenen Ländern noch drei
[ve]rschiedene Skalen im Gebrauche, welche man nach ihren
[E]rfindern als Celsius-, Réaumur- und Fahrenheit-
[sk]ala bezeichnet.

Um die Unterschiede dieser drei Skalen klar machen zu
[kö]nnen, müssen wir zunächst erwähnen, daß jede Thermometer-
[sk]ala zwei „Fundamentalpunkte" besitzt. Der eine, der soge-
[n]annte „Eis-" oder „Gefrierpunkt" stellt den Stand des Queck-
[si]lbers oder Weingeistes im Thermometer dar, wenn dasselbe
[d]ie Temperatur des schmelzenden Eises angenommen hat,
[w]ährend der andere, der sogenannte „Siedepunkt" den Stand
[d]er Thermometerfüllung bei der Temperatur des siedenden
[W]assers (selbstverständlich unter dem Atmosphärendrucke von
[7]60 *mm* Quecksilbersäule) angibt.

Celsius theilt nun den Abstand zwischen Gefrier- und
[S]iedepunkt in 100 Theile, und benennt den ersten als 0° C.,
[d]en letzten als 100° C., während Réaumur diesen Abstand
[i]n 80 gleiche Theile theilt, so daß der Eispunkt als 0° R., der
[S]iedepunkt aber als 80° R. bezeichnet wird. Fahrenheit
[en]dlich theilt den sogenannten „Fundamentalabstand" in 180
[T]heile, bezeichnet aber den Schmelzpunkt des Eises mit 32° F.,
[u]nd den Siedepunkt des Wassers mit 212° F. Sein Nullpunkt
[li]egt also um 32° seiner eigenen Skala tiefer als der Nullpunkt
[d]er beiden übrigen Skalen.

Nach dem eben Gesagten ist es leicht, die Temperaturangaben nach einer Skala in solche einer beliebigen anderen Skala umzuwandeln, es dienen hierzu die nachfolgenden Gleichungen:

$$t^0\ C. = 32 + \tfrac{9}{5}\ t^0\ F. = \tfrac{4}{5}\ t^0\ R.$$
$$t^0\ R. = 32 + \tfrac{9}{4}\ t^0\ F. = \tfrac{5}{4}\ t^0\ C.$$
$$t^0\ F. = \tfrac{5}{9}(t-32)^0\ C. = \tfrac{4}{9}(t-32)^0\ R.$$

Bequemer kommt man zu demselben Ziele mittelst der Tabellen LXVI bis LXIX.

Alle Temperatur-Angaben in diesem Buche sind, wo es nicht speziell erwähnt ist, in ° C. gemacht worden, und ist diese Thermometerskala heute allgemein für wissenschaftliche Zwecke in Anwendung. Die Réaumur-Skala ist bei uns im gewöhnlichen Leben fast überall im Gebrauch, während man sich in England und Nordamerika meistens der Fahrenheit-Skala bedient, obwohl auch in diesen Ländern in der letzten Zeit die Celsius-Skala an Verbreitung gewinnt.

Bezüglich der Fehlerquellen des Quecksilberthermometers können wir uns hier nicht verbreitern, da uns der nöthige Raum hierzu mangelt. Wir verweisen daher auf die treffliche Behandlung dieses Gegenstandes in Pfaundler's „Lehrbuch der Physik und Meteorologie (Bd. 2) und beschränken uns hier darauf, diese Fehlerquellen aufzuzählen.

Es können nämlich die Ablesungen fehlerhaft sein:

1. wegen eines Ablesefehlers;
2. wegen fehlerhaften Calibers, respective wegen fehlerhafter Eintheilung;
3. wegen unrichtiger Bestimmung oder Verschiebung der Fundamentalpunkte;
4. wegen des Einflusses eines äußeren oder inneren Druckes;
5. wegen des vorstehenden Fadens;
6. wegen Zurückbleibens oder todten Ganges;
7. wegen des Einflusses der Glasausdehnung.

Von allen diesen Fehlerquellen wollen wir hier nur jenen wegen des vorstehenden Fadens erwähnen, da derselbe einer einfachen Correctur unterliegt, zu welcher die Tabelle LXX des Anhanges die Anleitung gibt.

Da die gewöhnlichen Quecksilberthermometer nur bis in die Nähe des Siedepunktes des Quecksilbers gebraucht werden können, bedient man sich in solchen Fällen, wo Temperaturen bis etwa 460° C. gemessen werden sollen, mit Vortheil der Wasserstoff-Quecksilberthermometer (wie sie F. Buck, Wien, V. Kettenbrückengasse 7, erzeugt), die sich von den gewöhnlichen Thermometern bloß dadurch unterscheiden, daß sie ober dem Quecksilber statt des Vacuums Wasserstoffgas enthalten. Bei ihrem Gebrauche muß man sie, um ein Zertrümmern zu vermeiden, sehr langsam in die zu diesem Zwecke gemachte Oeffnung einsenken, und so langsam anwärmen.

Der Instrumente, welche zur Messung höherer Temperaturen bestimmt sind, gibt es eine große Zahl, obwohl nur wenige derselben verläßliche Temperaturmessungen gestatten.

Die verschiedenen Erscheinungen, welche der Construction von Pyrometern zu Grunde gelegt wurden, sind folgende: *)

1. die Ausdehnung starrer Körper;
2. die Ausdehnung von Flüssigkeiten;
3. die Ausdehnung von Luft oder anderen Gasen;
4. die Druckänderung abgesperrter Gase;
5. die Verschiedenheit der Schmelzpunkte verschiedener Legirungen;
6. die Uebertragung der Wärme auf thermometerartige Vorrichtungen durch Strahlung und Leitung;
7. die Erwärmung, welche kalte Körper erleiden durch das Hinzubringen von Körpern, welche auf die zu messende Temperatur erhitzt worden sind (calorimetrische Temperaturbestimmungen);
8. das Schwinden thoniger Körper beim Erhitzen (Wedgwood's Pyrometer);
9. die Aenderung der Schallfortpflanzungs-Geschwindigkeit (akustische Pyrometer);
10. die Helligkeit oder Farbe des von glühenden Körpern ausgestrahlten Lichtes (optische Pyrometer);
11. die Thermoelektricität;

---

*) Weinhold, der Artikel „Pyrometer" in Post: Chem. techn. Analyse. Sehr interessant sind auch dessen Arbeiten: „Ueber die Messung hoher Temperaturen" Osterprogramm d. k. Gewerbeschule in Chemnitz und „pyrometrische Versuche" in Pogg. Ann. 1873, Bd. 149, p. 186 ff.



12. die Aenderung des elektrischen Leitungswiderstandes
13. die Dissociation (Lamy's Marmorpyrometer).

Von den auf die Ausdehnung starrer Körper basirten Pyrometern ist das Graphit-Pyrometer ziemlich verbreitet, obwohl es durchaus nicht genügende Verläßlichkeit besitzt, wie die nachfolgende Tabelle zeigt, welche vergleichende Temperaturmessungen enthält, die von Th. Beckert mit einem Graphit-Pyrometer und mit dem Weinhold'schen Calorimeter ausgeführt wurden. *)

t	τ	t	τ	t	τ	t	τ
604	500	775	573	869	553	888	555
650	512	814	535	873	524	906	555
736	520	818	567	874	571	909	553
756	585	835	561	875	594	935	575

Überdies gehen diese Pyrometer nach erfolgter Abkühlung nicht mehr ganz auf die Lufttemperatur zurück, sondern zeigen dann eine um 20 bis 60° höhere Temperatur, und dieses Zuhochzeigen steigert sich mit der Zeit immer mehr, so daß drei von Beckert untersuchte Graphitpyrometer, welche nur erhitztem Gebläsewind ausgesetzt waren, der nie 500° erreichte, im Verlaufe von 2 Monaten über 800° zeigten, ja den Nullpunkt überschritten und bis etwa 200° stiegen. Ein noch weiteres Steigen wurde nur dadurch verhindert, daß der Gradbogen, welcher die lineare Ausdehnung auf den Zeiger überträgt, hier sein Ende erreicht hatte.

Die verläßlichsten Pyrometer sind entschieden die Luftpyrometer,**) nur waren dieselben bisher so complicirt zu handhaben und erforderten einen geschulten Beobachter, so daß sie

*) C. H. Bolz „die Pyrometer" p. 13 ff. — Dieses Büchelchen, wenn auch nicht ganz tadelfrei, ist immerhin für solche zur Durchsicht zu empfehlen, welche sich über Pyrometer näher unterrichten wollen.

**) Da der Ausdehnungscoëfficient der Luft bei sehr hohen Temperaturen constant ist; V. Mayer und Langer fanden den Ausdehnungscoëfficienten von Sauerstoff und Stickstoff bis 1700° constant (Wagner's Jahresbericht 1885, p. 395).

für die Praxis gar nicht in Betracht kamen. Vor Kurzem hat J. Wiborgh in Stockholm aber ein so zweckmäßig eingerichtetes Luftpyrometer construirt, daß es nicht nur leicht und bequem zu handhaben ist, sondern daß damit auch in der raschesten Zeit Temperaturmessungen von so großer Genauigkeit angestellt werden können, wie man sie früher kaum für möglich gehalten hätte.

Bevor wir auf das Wiborgh'sche Luftpyrometer näher eingehen, wollen wir mit einigen Worten an die beiden Principien erinnern, welche bisher bei der Construction von Luftpyrometern befolgt wurden. Theils läßt man nämlich eine gewisse, bestimmte Luftmenge ihr Volum unverändert beibehalten, so daß die auftretende Druckänderung der Temperaturberechnung zu Grunde gelegt wird, theils aber erhält man die Luft unter unverändertem Drucke, so daß die Temperatur aus der Volumsveränderung abgeleitet wird.

Fig. 22.

Beide Pyrometer können durch Fig. 22 anschaulich gemacht werden, in welcher die eingeschriebenen Buchstaben die nachfolgende Bedeutung haben: V ist eine mit Luft gefüllte Thermometerkugel, welche mittelst der Capillarröhre A mit einem offenen Manometer in Verbindung steht, dessen Theil V' in Kubikcentimeter getheilt ist, während der andere Schenkel B von einer längeren verticalen Röhre gebildet wird. Der untere V' und B vereinigende Theil des Manometers communicirt mit dem Kautschukballon K, welcher Quecksilber enthält, das beim Zusammendrücken des Ballons K ins Manometer getrieben wird. Durch das Capillarrohr C und den Hahn D kann die Thermometerkugel V mit der äußeren Luft in Verbindung gesetzt werden.

Das Volum der Capillarröhren wird so klein genommen, daß es nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht.

Soll nun dieses Instrument nach dem erstgenannten Principe Verwendung finden, so öffnet man den Hahn D und drückt das Quecksilber bis zur Marke m, nahe der Capillarröhre empor.

Die Quecksilbersäule stellt sich unter diesen Umständen in beiden Manometerschenkeln in dasselbe Niveau. Nachdem nun der Hahn D geschlossen ist, wird die Kugel V der zu bestimmenden Temperatur ausgesetzt, wobei sich die eingeschlossene Luft ausdehnt und das Quecksilber hinabdrängt, so daß es in der Manometerröhre B über die Marke m steigt. Wenn man nun, um das Luftvolum wieder auf die ursprüngliche Größe zu bringen, durch Zusammendrücken des Ballons K so viel Quecksilber in das Manometer preßt, daß seine Oberfläche in der Röhre V' wieder bis zur Marke m steigt, so steigt das Quecksilber in der Röhre B noch weiter, sagen wir um h und dieser Überdruck h steht mit der gesuchten Temperatur in folgender Relation:

$$h = H \, . \, a \, t,$$

worin bezeichnet:

h den höheren Druck, welcher erforderlich ist, damit die Luft ihr unverändertes Volum beibehalte,

H den herrschenden Barometerstand,

a den Ausdehnungscoëfficienten der Luft und

t die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel V.

Dadurch, daß das Instrument die angegebene Form erhält, wird es, wie selbstverständlich und wie die obige Gleichung zeigt, von der Größe der Thermometerkugel unabhängig und der Drucküberschuß h bleibt der Temperaturerhöhung proportional, aber dieser Drucküberschuß ist so bedeutend, daß schon bei einer Temperaturerhöhung der Luft in der Thermometerkugel um 272° der Druck h um eine ganze Atmosphäre oder um 760 *mm* wächst und dieser Umstand macht es unmöglich das Instrument für höhere Temperaturen zu verwenden.

Soll das Instrument nach dem andern Principe als Thermometer verwendet werden, so stellt man das Quecksilber wie früher bei m ein; aber, während die Thermometerkugel

auf t^0 erwärmt wird, wobei sich die Luft ausdehnt, läßt man einen Theil der Luft frei in die graduirte Röhre V′ austreten, wobei das Quecksilber im Manometer so sinkt, daß es in beiden Armen im gleichen Niveau steht und die eingeschlossene Luft denselben Druck beibehält. Für eine gewisse Temperaturerhöhung t dehnt sich die Luft um ein bestimmtes Volum V′ aus, welches in der graduirten Röhre abgelesen werden kann, und welches, vorausgesetzt, daß das Luftvolum V′ bei der Ablesung dieselbe Temperatur besitzt, welche V beim Erwärmen annahm, und daß sich der Barometerstand während des Experimentes nicht änderte, mit der zugehörigen Temperatur in folgender Relation steht:

$$V_1 = V_0 + V'_0\, a\,(T - t)$$

worin V'_0 dasjenige Volum bezeichnet, auf welches V bei der Abkühlung von t^0 auf 0^0 sich zusammenziehen würde. Da nun aber

$$V'_0 = \frac{V}{1 + a\,t}$$

ist, läßt sich obiger Ausdruck in

$$V^1 = V + \frac{V}{1 + a\,t} \cdot a\,(T - t) = \frac{V\,(1 + a\,T)}{(1 + a\,t)} =$$

$$= V \frac{\frac{1 + a\,T}{a}}{\frac{1 + a\,t}{a}} = V \frac{\Theta}{\tau}$$

verwandeln, worin Θ und τ die den Celsiusgraden T und t entsprechenden absoluten Temperaturen sind.

In diesem Falle muß das Luftvolum V vor der Erwärmung bei der Temperatur t und dem nach der Erwärmung herrschenden Barometerstande gemessen worden sein, was die Handhabung des Instrumentes ungemein erschwert und die Temperaturbestimmungen unverhältnismäßig verlangsamt, indem das Instrument nicht ein für allemale an jener Stelle fixirt werden kann, deren Temperatur öfters — vielleicht mehrmals in jedem Tage — gemessen werden soll.

Vergrößert man das Volum der Thermometerkugel, um die Empfindlichkeit des Instruments zu erhöhen, so wächst auch das abzulesende Volum V′, allein dies bringt in

vielen Fällen praktische Schwierigkeiten mit sich, und die Ablesungen müssen daher bei diesem Pyrometer mit äußerster Schärfe vorgenommen werden. Um dies zu ermöglichen, hat Professor O. Pettersson an der Stockholmer Hochschule eine äußerst sinnreiche Verbesserung angegeben, welche im Principe ebenfalls aus Fig. 22 ersichtlich ist. Er hat nämlich die Capillarröhre C mit einem kleinen Manometer E combinirt, welches ein wenig Wasser enthält und daher sehr empfindlich ist. Wenn das Quecksilber im Manometer nahe im gleichen Niveau steht, öffnet man mittelst des Hahnes D die Verbindung mit diesem Manometer und mit Hilfe desselben kann man das Quecksilber im Manometer mit Genauigkeit einstellen, so daß die eingeschlossenen Gase unter Atmosphärendruck stehen. Wenn die Temperatur des Luftvolums V′ mit Genauigkeit bestimmt werden soll, ist dies jedoch noch nicht genug, sondern es muß auch noch jener Theil des Manometers von Wasser bekannter Temperatur umgeben werden, wodurch die Handhabung des Instrumentes im höchsten Grade unbequem wird. Aus dem angeführten Grunde scheint es, daß ein auf dieses Princip gegründetes Luft-Pyrometer zu praktischen Temperatur-Messungen für industrielle Zwecke kaum geeignet sein dürfte.

Eine nähere Betrachtung der Fig. 22 läßt jedoch erkennen, daß noch eine andere Art der Construction eines Luftpyrometers zulässig ist. Man kann nämlich das Quecksilber auf die Marke m′ einstellen und den Hahn D offen lassen, so daß das Luftvolum V mit der äußeren Luft in Verbindung steht. Beim Anwärmen oder Abkühlen der Thermometerkugel strömt natürlicher Weise so viel Luft aus oder ein, daß die in der Thermometerkugel zurückbleibende stets unter Atmosphärendruck steht.

Wenn eine Temperaturbestimmung ausgeführt werden soll, schließt man den Hahn D und drückt das Quecksilber im Manometer bis zur Marke *m*, womit also ein bestimmtes Luftvolum V′ in die Thermometerkugel gepreßt wird. Ist dieses Luftvolum bei der Einpressung t^0 warm und besitzt die Thermometerkugel eine Temperatur von T^0, so wird ersteres um $T-t^0$ erwärmt und erfordert, um in die Kugel eingeschlossen zu werden, einen gewissen Druck h über den At-

mosphärendruck, welcher Überdruck das Maß für die gesuchte Temperatur T bildet.

Dieses, bei Luftpyrometern bisher noch nicht angewendete Princip, liegt Wiborgh's neuem Luftpyrometer zu Grunde, auf dessen Theorie und Construction nun übergegangen werden soll.

Theorie des Pyrometers. In der Thermometerkugel V, welche T° warme Luft vom Atmosphärendruck enthält, soll noch ein bestimmtes Luftvolum V′ von der Temperatur t° und Atmosphärendruck eingepreßt und auf T° erwärmt werden.

Wir geben zunächst eine nicht ganz strenge Ableitung, die — obwohl sie nur Näherungswerthe liefert — aus praktischen Gründen von Herrn Wiborgh der Construction seines Instrumentes zu Grunde gelegt wurde, und werden später sehen, wie sich auf Grund einer genauen Formel mittelst einer einfachen Correctur absolut richtige Temperaturbestimmungen (natürlich von unvermeidlichen Beobachtungsfehlern abgesehen) ausführen lassen.

Wenn der Druck ungeändert bliebe, würde das ganze Luftvolum nach der Erwärmung sein:

$$V + V'[1 + \alpha(T-t)];$$

wenn aber das Luftvolum V′ in die Thermometerkugel gepreßt wird, muß sich der Druck um eine gewisse Größe h ändern und hierauf bezieht sich folgende Gleichung:

$$\frac{V' + V'.[1 + \alpha(T-t)]}{H+h}.H = V \dots\dots\dots\dots (1)$$

oder

$$h = \frac{V'}{V} H + \frac{V'}{V}.H.\alpha(T-t) \dots\dots (2)$$

oder

$$T-t = \frac{V'-V'H}{a.V'H} \dots\dots\dots\dots (3)$$

In dieser Formel ist jedoch das Volum der Capillarröhre nicht eingerechnet, weil dasselbe im Verhältnisse zu dem Volum V und V′ sehr klein sein soll, so daß es nicht in berücksichtigungswürdiger Weise auf die Temperaturbestimmung einwirken kann. Aus diesem Grunde ist auch die Ausdehnung

der Thermometerkugel vernachlässigt; wenn man sie aber bei der Berechnung zu berücksichtigen wünscht, so erhält man statt der Formel (2):

$$h = \frac{V'H}{V(1+KT)} \cdot [1+a(T-t)]$$

worin K der kubische Ausdehnungscoëfficient jenes Materiales ist, aus welchem die Thermometerkugel besteht.

Aus Formel (3) geht hervor, daß das Thermometer nur Temperaturunterschiede zwischen den Volumen V und V' angibt und aus (2), daß für $T = t$, das heißt, wenn beide Luftvolumen die gleiche Temperatur besitzen, h dem ersten Gliede dieser Gleichung, nämlich $\frac{V'}{V}$. H entspricht, was folglich die Lage des Nullpunktes für das Instrument repräsentirt.

Das zweite Glied der Formel (2) gibt daher den Zuwachs an Druckhöhe an, welche für das Hineinpressen des Luftvolums V^0 in das Volum V erforderlich ist, wenn sie verschiedene Temperatur haben. Dieser Zuwachs ist, wie Gleichung (2) zeigt, dem Temperaturzuwachse proportional, woraus folgt, daß das Thermometer für eine und dieselbe Temperatursteigerung gleiche Ausschläge geben muß, ganz unabhängig von der Höhe dieser Temperatur. Aus dem Vorgesagten folgt weiter, daß man die gesuchte Temperatur T (Temperatur der Thermometerkugel) erhält, wenn man zu der Temperatur, oder richtiger gesagt zu der Temperaturdifferenz, welche das Instrument zeigt, die Temperatur des Luftvolums V' vor der Einpressung in V hinzufügt.

Aus Gleichung (2) folgt weiter, daß sowohl die Lage des Nullpunktes als der einer bestimmten Temperaturerhöhung entsprechende Überdruck vom Barometerstande, welcher deshalb bekannt sein muß, und von dem Verhältniß $\frac{V'}{V}$ abhängt. Je größer die Thermometerkugel im Verhältnisse zu dem hineinzupressenden Luftvolum V' ist, desto kleiner wird der einer bestimmten Temperaturdifferenz entsprechende Drucküberschuß und man kann daher das Luftpyrometer nach Belieben so verfertigen, daß es für eine gewisse Temperaturdifferenz größere oder kleinere Ausschläge angibt, ganz ebenso, wie die Länge



der Grade an dem gewöhnlichen Quecksilberthermometer je nach dem Volum der Thermometerkugel und dem Durchmesser der Thermometerröhre variirt.

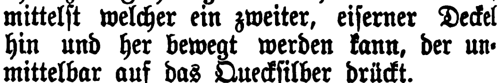
Endlich ist es klar, daß dieses Luftpyrometer ebenso gut zu Kälte- wie zu Wärmemessungen angewendet werden kann, denn wenn die Thermometerkugel kälter als das Luftvolum V' ist, wird das zweite Glied der Gleichung (2) negativ, was bedeutet, daß die Druckhöhe h unter den Nullpunkt sinkt.

Construction des Pyrometers. Fig. 23 und 24 zeigen die Construction des in Rede stehenden Pyrometers, welches hauptsächlich zur Messung der Windtemperaturen bei Hochöfen bestimmt ist. Die Thermometerkugel V, welche ungefähr 12 cm^3 Inhalt besitzt, geht in eine Porzellanröhre von 20 *mm* äußerem und 0·5 *mm* innerem Diameter über, so daß letztere als Capillarrohr betrachtet werden kann. Diese Röhre, welche auf die übrigen Theile des Instrumentes aufgesetzt werden kann, muß eine bedeutende Festigkeit haben, weshalb auch die Fleischstärke groß ist. Die Röhre ist in die Metallhülse A eingekittet, die mittelst Holländerverschraubung an den Metallcylinder H' befestigt werden kann, wodurch die Verbindung derselben mit dem Manometer B V' B' hergestellt wird.

Fig. 23.

Die Glasröhre, aus welcher das Manometer besteht, wird bei *m* auf eine Länge von 10 *mm* etwas weiter (1·5 bis 2 *mm*, worauf eine größere Erweiterung folgt, welche das Luftvolum V' enthält, das bei der Temperaturbestimmung in die Thermometerkugel eingepreßt werden soll, und welches passend $\frac{1}{10}$ des ersteren beträgt. Bei *m'* mündet *a'* in die längere Manometerröhre B' mit etwa 2 *mm* innerem und 8 *mm*

äußerem Durchmesser, die sich nach abwärts verlängert und nach einer Biegung mit dem mit Quecksilber gefüllten eisernen Gefäße K in Verbindung steht. Dieses Gefäß hat einen Deckel aufgeschraubt, welcher zur Führung der Schraube S dient,



mittelst welcher ein zweiter, eiserner Deckel hin und her bewegt werden kann, der unmittelbar auf das Quecksilber drückt.

Fig. 24.

Die Schraube S wird mittelst der Metallscheibe S′ gedreht, welche nur leicht auf das zapfenförmige Ende der Schraube gesteckt ist, so daß die Scheibe leicht abgenommen werden kann. Hierdurch soll verhindert werden, daß durch unachtsame Handhabung das Quecksilber durch die Mamometerröhre B in die Thermometerkugel getrieben und das Instrument beschädigt werde. Zum weiteren Schutze gegen ein derartiges Vorkommnis besitzt die Röhre B unmittelbar ober *m* eine zweite ganz kleine kugelförmige Erweiterung, die mit Asbest gefüllt ist, welche ein weiteres Steigen des Quecksilbers verhindert.

Zum Schutze gegen Beschädigungen ist die Manometerröhre in ein kleines rechteckiges Metallkästchen D eingelassen, welches vorne mit der Glasscheibe G verschlossen ist. Die längere Manometeröhre B′ reicht durch das Kästchen längs der Metallröhre P nach aufwärts. Die Metallröhre enthält den Holzcylinder O, welcher mittelst des Knopfes O′ gedreht werden kann, und auf welchem die Scala befestigt ist. Um letztere sichtbar zu machen, besitzt die Metallröhre P neben der Manometerröhre einen Schlitz. Durch Drehung des Scalencylinders kann die richtige, d. h. die dem Barometerstand entsprechende Scala zum Manometerrohre gebracht werden. Um das Eindringen von Staub in die offene Manometerröhre B′ und die Verunreinigung des Quecksilbers zu verhindern, wird etwas Baumwolle in deren oberes Ende gesteckt, über welches man ein Glasdach hängen kann.

Wenn das Luftvolum V′ eben so warm ist, wie die Thermometerkugel und das Quecksilber bis zur Marke m gedrückt wird, steigt dasselbe, wie früher gesagt, in der Manometerröhre B′ auf eine gewisse Höhe, welche den, dem Barometerstande entsprechenden Nullpunkt des Instrumentes bezeichnet.

Um zu erfahren, welche Scala die richtige ist, braucht man daher den Scalencylinder nur so zu drehen, daß jene Scala neben der Manometerröhre steht, deren Nullpunkt mit dem eben erwähnten Quecksilberstande zusammenfällt. Sollte jedoch das Instrument so angebracht sein, daß V wärmer als V′ ist, so ist es natürlich nicht mögkich, auf diese Weise die richtige Scala zu ermitteln.

Um in diesem Falle nicht ein besonderes Barometer anwenden zu müssen, ist an der Manometerröhre eine dritte, in die Kugel Q′ endigende Röhre Q angebracht, welche nach unten in die gemeinsame Röhre R ausmündet. Beim Einpressen des Quecksilbers in das Manometer steigt es natürlich auch in die eben genannte Röhre Q und erreicht für den Nullpunkt des Instrumentes ein gewisses Niveau, bei welchem die Marke r eingeritzt ist. Hier ist wieder dasselbe Princip angewendet, wie beim ganzen Pyrometer, nämlich, daß ein bestimmtes Luftvolum in ein anderes hineingepreßt wird; denn wenn die Röhre Q und die Kugel Q′ gleiche Temperatur haben, kann der Nullpunkt des Pyrometers mit Zuhilfenahme der Marke r bestimmt werden, wenn auch V wärmer als V′ ist.

Da das Pyrometer, wie schon erwähnt, hauptsächlich zur Bestimmung der Temperatur des Gebläsewindes von Hochöfen dienen soll, hat das Instrument eine solide Construction und läßt sich leicht und bequem in einer Gasleitung anbringen. Um den unteren Theil der Porzellanröhre A, welche die Thermometerkugel enthält, und daher gebrechlicher ist, namentlich gegen rasche Temperaturschwankungen, aber auch gegen Stöße einigermaßen zu schützen, ist derselbe mit Asbestschnur umwickelt. Der obere Theil desselben bleibt jedoch frei.

Zum Einkitten der Pyrometer- und Manometerröhre in ihre respectiven Metallhülsen dient ein Kitt, welcher durch Mischung von fein geriebenem Bleioxyd (Glätte) mit soviel Glycerin erhalten wird, daß die Masse ziemlich dick ist. Dieser Kitt erhärtet schnell (in einigen Stunden), dichtet ausgezeichnet

und verträgt eine Erhitzung bis ungefähr 250°, bevor er sich zersetzt. Um eine Verstopfung der Capillarröhre beim Kitten zu vermeiden, vereinigt man beide Röhren mittelst eines in dieselben gesteckten Metalldrahtes, hierauf entfernt man die Enden der Röhren etwas aus den Metallhülsen und bestreicht sie mit einer Lage Kitt. Nach Verlauf von ungefähr einer halben Stunde entfernt man den überflüssigen Kitt aus der Hülse und zieht den Metalldraht heraus.

Wenn das Pyrometer transportirt werden soll, muß das Quecksilber abgesperrt werden, damit es nicht in die Manometerröhre kommen kann. Zu diesem Zwecke findet sich zwischen dem eisernen Quecksilberreservoir K und der Manometerröhre eine Klemme E, welche aus einem Paar mittelst der Schraube S″ bewegbaren Metallplatten besteht. Die Schraube S″ läßt sich mittelst derselben Scheibe S′ handhaben, welche auch zur Drehung der Schraube S allein dient. Die Temperatur des in V einzupressenden Luftvolums V′ ist gleich jener der umgebenden Luft, die an dem unweit des Manometers angebrachten Thermometer T abgelesen werden kann.

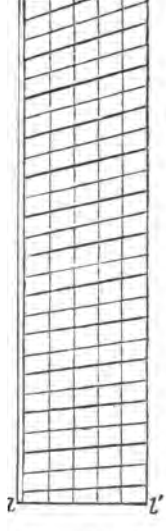
Berechnung und Herstellung der Pyrometerscala. Bevor man die Scala berechnen und herstellen kann, muß erst die Lage des Nullpunktes bestimmt werden. Zu diesem Zwecke bringt man auf den Manometerröhren knapp unter dem Ende der Capillarröhre einen deutlich sichtbaren Ritz m an. Nachdem dies bewerkstelligt ist, drückt man an dem nicht an der Pyrometerröhre befestigten Instrumente das Quecksilber bis zur Marke m, worauf man die Höhe, welche das Quecksilber in der andern Röhre erreicht, mittelst eines Kathetometers mißt und mit einer beliebigen Marke auf dieser Röhre bezeichnet. Nun läßt man das Quecksilber bis m″, das ist bis unterhalb der Röhren Q und B′ sinken, und verschließt die Mündung der Kapillarröhre im Cylinder H′ (am besten mittelst eines Schraubenbolzens und eines auf die Mündung gelegten Stückchens Kautschuk von höchstens 0·5 *mm* Dicke). Wenn das Quecksilber nun wieder zur Marke m gedrückt wird, steigt es in der anderen Manometerröhre bis zu einer gewissen Höhe, welche ebenfalls gemessen oder irgend wie auf der Röhre markirt wird.

Wurden diese beiden Beobachtungen unter dem bekannten Barometerdrucke H angestellt und haben die beiden Luftvolumen V und V' gleiche Temperatur, so ist der Unterschied der Preßhöhe h, welcher aus diesen beiden Messungen hervorgeht, gerade dem Nullpunkte des Pyrometers bei dem betreffenden Barometerstande entsprechend, nach der Formel:

$$h = \frac{V'}{V} \cdot H$$

Fig. 25

Fig. 26.



Nachdem nun weiter h und H in Ziffern bestimmt werden können, ist auch für das Instrument das Verhältnis $\frac{V'}{V}$ bekannt, und hieraus kann die Lage des Nullpunktes für jeden beliebigen Barometerstand berechnet werden. Nach dem zweiten Gliede der Gleichung (2)

$$\frac{V'}{V} . H . a\ (T-t)$$

ergibt sich, wie hoch für den Barometerstand H und einen gewissen Temperaturunterschied zwischen den beiden Luftvolumen V und V' (z. B. von 1000°) die Quecksilbersäule über den Nullpunkt steigen muß. Da nun für einen bestimmten Barometerstand sowohl die Lage des Nullpunktes als die Länge der Scala für einen bestimmten Temperaturunterschied (von 1000°) bekannt sind, ist es leicht, die Scala für diesen Barometerstand zu entwerfen, da ja, wie schon erwähnt, die Druckunterschiede den Temperaturunterschieden proportional sind. Theilt man also in unseren Falle die gefundenen Scalenlängen in 100 Theile, so entspricht jeder derselben einem Temperaturunterschiede von 10°.

Auf diese Weise kann man die Temperaturscalen (z. B. für 730, 745, 760, 775 und 790 *mm* Barometerstand) be-

rechnen, zeichnen und auf dem Holzcylinder O befestigen. Zum Zeichnen zieht man sich zwei parallele Linien l und l_1 (Fig. 25, 26) in einer Entfernung von einander, welche dem Umfange des Holzcylinders gleich ist. Den Zwischenraum zwischen diesen Linien theilt man in fünf gleich breite Streifen, in welche die, den obgenannten Barometerständen entsprechenden Scalen eingezeichnet werden. Nun wählt man den Nullpunkt für eine Scala, z. B. für 730 *mm* Barometerstand willkürlich und berechnet die Lage der übrigen im Verhältnis zu diesem.

Nachdem die Scalen gezeichnet sind, wird der Scalencomplex ausgeschnitten, zusammengerollt und so verklebt, daß die Linien l und l_1 zusammenfallen, auf den Cylinder gesteckt und mit einigen kleinen Stiften daran befestigt. Hierbei muß man jedoch darauf achten, daß die Nullpunkte in die richtige Höhe kommen. Endlich wird die Scala gefirnißt oder mit einem Glascylinder umgeben, um sie möglichst gegen Beschmutzung zu schützen.

Anstatt die Scalen für jeden einzelnen Barometerstand zu beschreiben, kann man, wie Fig. 26 zeigt, sich auch darauf beschränken, nur die Scalen für den höchsten und niedersten gewöhnlich vorkommenden Barometerstand zu berechnen und zu zeichnen und die gleichen Temperaturintervallen entsprechenden Punkte mit geraden Linien zu verbinden, so daß deren Schnitte mit den zwischen den Linien l und l_1 in entsprechenden Intervallen gezogenen Verticalen die Scalen für die gewünschten Barometerstände darstellen.

Letztere Methode bietet den Vortheil zwischen den gegebenen Scalen liegende Barometerstände leichter abschätzen zu können.

Wie schon auf p. 229 bemerkt, liefern die dort gegebenen Formeln nur Näherungswerthe. Eigentlich müßten die betreffenden Gleichungen wie folgt abgeleitet werden:

Wird das Luftvolum V_1 (Fig. 22) bei constantem (Atmosphären-) Drucke von t^0 auf T^0 C. erwärmt, so geht es über in das Volum

$$V_1 + V_0{}^1 \, a \, (T - t)$$

worin $V_0{}^1$ dasjenige Volum bezeichnet, auf welches V_1 bei der Abkühlung von t^0 auf O^0 sich zusammenziehen würde.

Da nun aber

$$V_0{}^1 = \frac{V_1}{1 + a\,t}$$

st, läßt sich obiger Ausdruck in

$$V_1 + \frac{V_1}{1 + at} \cdot a\,(T - t) = V_1 \frac{(1 + aT)}{(1 + a\,t)} =$$

$$= V_1 \frac{\frac{1 + aT}{a}}{\frac{1 + at}{a}} = V_1 \frac{\Theta}{\tau}$$

erwandeln, worin Θ und τ die den Celsiusgraden T und t ntsprechenden absoluten Temperaturen sind.

Das Gesammtvolum des abgeschlossenen Luftquantums eträgt daher nach seiner Erwärmung von t^0 auf T^0 C.

$$V + V_1 \frac{\Theta}{\tau}$$

nd wenn bei Compression desselben auf das Volum V der Druck auf H+h steigt, so ist nach dem Mariotte'schen Ge- etze

$$\left(V + V_1 \frac{\Theta}{\tau}\right) H = V(H + h)$$

oder

$$\Theta = \tau \frac{V}{V_1} \cdot \frac{h}{H}$$

oraus sich ergibt

$$h = H \cdot \frac{V_1}{V} \cdot \frac{\Theta}{\tau}$$

setzt man hierin $\tau = \Theta$, so gelangen wir wie oben zu dem usdrucke

$$h_0 = H \frac{V_1}{V}$$

r die Lage des Nullpunktes der Skala.

Setzen wir $\Theta = 1 + \alpha\,T$ und $\tau = 1 + \alpha\,t$, so kommen ir zu den Ausdrücken:

$$h = \frac{V_1}{V} H . \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}$$

und

$$T = \frac{V h - V_1 H}{V_1 H \alpha} + \frac{h}{\frac{V_1}{V} H} . t$$

In dieser letzteren Gleichung ist nun das erste Glied jene Temperatur, welche wir unmittelbar an der Scala des Instrumentes ablesen, und welche wir mit T_1 bezeichnen wollen, also

$$T_1 = \frac{V h - V_1 H}{V_1 H \alpha}$$

während das zweite Glied die Correction darstellt, die wir mit T_2 bezeichnen wollen. Da nun $h_0 = \frac{V_1}{V} . H$ ist, folgt:

$$T_2 = \frac{h}{\frac{V_1}{V} . H} . t = \frac{h}{h_0} . t$$

d. h. wir erhalten die Correction, wenn wir die Lufttemperatur multipliciren mit dem Quotienten aus dem abgelesenen Manometerstand und der dem Nullpunkt der Scala entsprechenden Quecksilberhöhe.

Diesen Quotienten könnte man nun mittelst einer eigenen Scala unmittelbar an der Manometerröhre ablesen, allein dies würde dadurch einigermaßen erschwert werden, daß h_0 sich mit dem Barometerstande ändert. Viel einfacher gelingt die Ermittlung dieses Factors, wenn man bedenkt, daß

$$\frac{h}{h_0} = 1 + \alpha T_1$$

ist. Man kann sich aus dieser Formel die nachstehende Tabelle für die Quotienten $\frac{h}{h_0}$ berechnen ($\alpha = 0{\cdot}003665$ gesetzt):

T_1	$\frac{h}{h_0}$	T_1	$\frac{h}{h_0}$	T_1	$\frac{h}{h_0}$	T_1	$\frac{h}{h_0}$
10	1·04	390	2·43	770	3·82	1140	5·17
20	1·07	400	2·46	780	3·85	1150	5·21
30	1·11	410	2·50	790	3·89	1160	5·25
40	1·15	420	2·54	800	3·93	1170	5·28
50	1·18	430	2·57	810	3·96	1180	5·32
60	1·22	440	2·61	820	4·00	1190	5·36
70	1·26	450	2·65	830	4·04	1200	5·39
80	1·29	460	2·68	840	4·07	1210	5·43
90	1·33	470	2·72	850	4.11	1220	5·47
100	1·37	480	2·76	860	4·15	1230	5·50
110	1·40	490	2·79	870	4·18	1240	5·54
120	1·44	500	2·83	880	4·22	1250	5·58
130	1·48	510	2·87	890	4·26	1260	5·61
140	1·51	520	2·90	900	4·29	1270	5·65
150	1·55	530	2·94	910	4·33	1280	5·68
160	1·59	540	2·98	920	4·37	1290	5·72
170	1·62	550	3·01	930	4·40	1300	5·76
180	1·66	560	3·05	940	4·44	1310	5·79
190	1·70	570	3·09	950	4·48	1320	5·83
200	1·73	580	3·12	960	4·51	1330	5·87
210	1·77	590	3·16	970	4·55	1340	5·90
220	1·81	600	3·20	980	4·59	1350	5·94
230	1·84	610	3·23	990	4·62	1360	5·98
240	1·88	620	3·27	1000	4·66	1370	6·01
250	1·92	630	3·31	1010	4·70	1380	6·05
260	1·95	640	3·34	1020	4·73	1390	6·09
270	1·99	650	3·38	1030	4·77	1400	6·12
280	2·02	660	3·42	1040	4·81	1410	6·16
290	2·06	670	3·45	1050	4·84	1420	6·20
300	2·10	680	3·49	1060	4·88	1430	6·23
310	2·13	690	3·53	1070	4·92	1440	6·27
320	2·17	700	3·56	1080	4·95	1450	6·31
330	2·21	710	3·60	1090	4·99	1460	6·34
340	2·24	720	3·64	1100	5·03	1470	6·38
350	2·28	730	3·67	1110	5·06	1480	6·42
360	2·32	740	3·71	1120	5·10	1490	6·45
370	2·35	750	3·75	1130	5·14	1500	6·49
380	2·39	760	3.78				

Hätte man beispielsweise gefunden

$T_1 = 500^0$ C.

$t = 20^0$ C.

so ergibt sich:

$$T_1 = \qquad 500^\circ \text{ C.}$$
$$T_2 = \frac{h}{h_0} . t = 2{\cdot}83 \times 20 = 56{\cdot}6^\circ \text{ C.}$$
$$T = T_1 + T_2 = 556{\cdot}6^\circ \text{ C.}$$

Handhabung des Instrumentes.

Die Pyrometerröhre muß vor dem Gebrauche langsam angewärmt werden, da sie sonst möglicherweise zerspringen könnte. Dort, wo häufig Temperaturbestimmungen ausgeführt werden sollen, empfiehlt es sich, die Röhre ein für allemal fest anzubringen (einzumauern 2c).

Soll das Instrument in Gebrauch genommen werden, so schraubt man die Kappe von der Pyrometerröhre ab und das Instrument an die Pyrometerröhre fest. Nun wird die Klemme K (siehe die Figuren 27, 28, 29), mit welcher der Kautschukschlauch g zusammengeklemmt ist, um das Ausrinnen des Quecksilbers beim Transport des Pyrometers zu verhindern, geöffnet. Sollte der Kautschukschlauch nach Öffnen der Klemme zusammengedrückt bleiben, so sucht man ihn durch Drücken mit einem Bleistift 2c. zur Annahme seiner runden Form zu bringen.

Ist das Instrument einem längeren Transporte ausgesetzt worden, so kann es geschehen, daß das Quecksilber sich von Luftblasen begleitet zeigt. Dies hat jedoch nichts zu bedeuten und die Luft verschwindet, wenn man durch Drehen der Schraube S das Quecksilber ein paarmal bis zum Zeichen m hinauftreibt und dann wieder zurücksinken läßt.

Zur Dichtung zwischen den Pyrometerröhren und dem Instrumente dient eine dünne Bleiplatte mit kleiner Öffnung. Diese kleine Platte ist am Boden der Hülse, in welche die Röhre eingeschraubt wird, festsitzend. Sollte sie beim Transporte aus der Hülse gefallen und verloren gegangen sein oder sich nach dem Anschrauben der Pyrometerröhre eine Undichtheit zeigen, so wird sie durch eine neue Platte ersetzt.

Diese kleine Platte hält vollständig dicht, nur muß man die Röhre mit der Hand fest anschrauben. Zangen, Schraubenschlüssel 2c. sind hierzu nie in Anwendung zu bringen.

Die Pyrometerröhre, welche von Porzellan hergestellt ist, ; vor Stößen möglichst geschützt werden. Mit Asbestpappe eidet verträgt sie Rothwärme; bei höheren Temperaturen :8 jedoch gut beim Einsetzen der Röhren vorsichtig zu Werke jehen, d. h. sie etwas vorzuwärmen.

Die horizontal liegende Pyrometerröhre muß mindestens ;wei Stellen unterstützt werden. Das Instrument ist gegen tarke Wärmestrahlung durch einen Schirm zu schützen.

Nachdem die Pyrometerröhre in den Ofen oder die Geleitung eingesetzt ist, wird die Öffnung um dieselbe mit

Fig. 27.

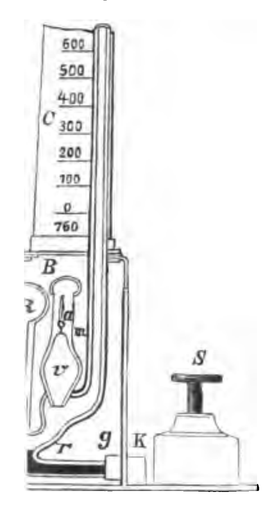
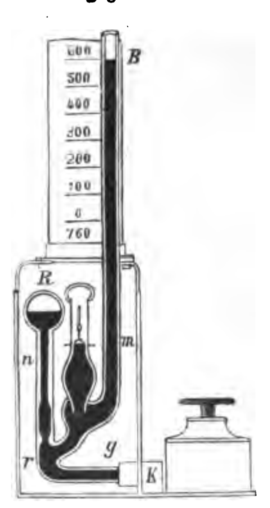


Fig. 28.



tem Lehm, Metallringen und Eisenkitt oder ähnlichem htet. Um das Quecksilber gegen Staub zu schützen wird nometerröhre B durch einen Baumwollpfropf geschlossen. ßfropf muß aber so lose eingesetzt werden, daß das Ein- 3strömen der Luft in keiner Weise gehindert wird. Dessen- et läßt es sich nicht verhindern, daß bei Anwendung trumentes das Quecksilber mit der Zeit schmutzig wird, n muß dann die Metalldose aufschrauben, und das

schmutzige Quecksilber gegen neues vertauschen, worauf man die Dose wieder verschließt.

Die Temperaturbeobachtungen erfolgen unter Beachtung der nachstehenden Punkte:

1. Wenn die Pyrometerröhre in den Ofen oder in eine Gebläseleitung 2c. eingesetzt wird, muß, wie überhaupt stets, wenn keine Temperaturbestimmungen gemacht werden, der Stand des Quecksilbers ein so niederer sein, (bei r, Fig. 27), daß die Kugeln R und V durch die offene Manometerröhre B mit der äußern Luft in Verbindung stehen.

2. Soll eine Temperaturbeobachtung gemacht werden, so wird das Quecksilber mittelst der Schraube S bis zur Marke m eingestellt (Fig. 28). Hierbei steigt das Quecksilber auch in der Manometerröhre B bis zu einer gewissen Höhe, die von der Temperatur der Pyrometerkugel abhängt. An der daneben befindlichen Scala C liest man die Temperatur T_1 ab, und addirt hierzu noch die Correctur $T_2 = \frac{h}{h_0} t$, welche man erhält durch Multiplication des aus der Tabelle auf p. 239 genommenen Wertes von $\frac{h}{h_0}$ mit der am kleinen, dem Pyrometer beigegebenen Thermometer abgelesenen Temperatur t.

3. Das Quecksilber wird, gleich nachdem die Ablesung an der Scala, bewerkstelligt ist wieder auf seinen Stand r in Fig. 27 herabgeschraubt, welchen Stand es (bei fix aufgestellten Instrumenten) bis zur nächsten Beobachtung behält.

Das Pyrometer zeigt, wie schon erwähnt, die Temperatur der Pyrometerkugel nicht unmittelbar, sondern man muß jedesmal, wenn man eine Temperaturbestimmung machen will, das Quecksilber vom Niveau r bis zur Marke m hinaufschrauben.

Die Höhe, bis zu welcher das Quecksilber in der offenen Manometerröhre steigt, hängt jedoch nicht allein von der Temperatur der Pyrometerkugel, sondern auch vom Barometerstande ab. Es sind deshalb auf dem drehbaren Holzcylinder C verschiedene, mit den zugehörigen Barometerständen bezeichnete Scalen angebracht, und es muß daher, um richtige Temperatur-

[L]esungen zu erhalten, durch Drehen des Holzcylinders die [de]n gerade herrschenden Barometerstande entsprechende Scala [geg]en die Manometerröhre gestellt werden.

4. Der Luftdruck zur Zeit der Beobachtung kann an einem [ge]wöhnlichen Barometer abgelesen, und so die richtige Scala [erm]ittelt werden.

Um die Anwendung eines eigenen Barometers umgehen [zu] können, wurde das Instrument so eingerichtet, daß man mit [dem]selben allein den Barometerdruck mit genügender Genauigkeit [best]immen kann. Zu diesem Zwecke ist [an] demselben eine eigene dritte Glas[röhr]e mit der Kugel R und der Marke [n a]ngebracht (siehe das oben bereits [gesa]gte). Wird das Quecksilber vom [Sta]nde r bis zu dieser Marke n, Fig. 29 [a]ufgeschraubt, so entspricht die Höhe, [bis] zu welcher das Quecksilber in der [Man]ometerröhre B steigt, dem Null[punk]te der dem herrschenden Luftdrucke [entsp]rechenden Scale, und man braucht nur den Scalencylinder so lange [zu d]rehen, bis die Nulllinie mit dem [Queck]silberstande in B zusammentrifft, [um] die richtige Scala eingestellt zu [habe]n.

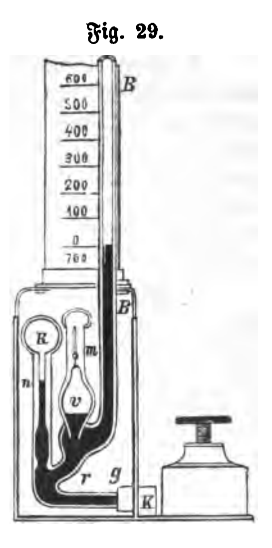


Fig. 29.

Ist die Pyrometerkugel erwärmt [und s]oll dann die Lage des Nullpunktes [und s]omit die richtige Scala mit Hilfe [der R]öhre R auf die oben beschriebene [Weise] bestimmt werden, so steigt das Quecksilber selbstver[ständl]ich nur ein Stückchen in der Röhre v hinauf, etwa so wie Fig. 29 zeigt.

[U]m den Barometerstand mittelst der Röhre R zu bestimmen [ist n]och einige Uebung in der Handhabung des Instrumentes [erford]erlich. Besonders hat man darauf zu achten, daß mit [dem Q]uecksilber keine Luftblasen aufsteigen, denn in diesem [Falle] würde der Kugel eine größere Luftmenge zugeführt [werden] und in Folge dessen eine falsche Ablesung Platz greifen.

5. Hat die Pyrometerkugel dieselbe Temperatur wie die übrigen Theile des Instrumentes, so zeigt das Quecksilber beim Hinaufschrauben gleichzeitig auf die Marken m und n sowie auf den Nullpunkt der Scale.

6. Wenn man das Quecksilber auf eine der Marken m oder n einstellen will, darf man nicht außer Acht lassen, daß dasselbe zu Folge der Elasticität des Kautschukschlauches bei K gleich nach dem Einstellen häufig wieder etwas sinkt. In solchem Falle muß man durch eine kleine Drehung der Schraube S die Einstellung berichtigen, ehe man die Ablesung an der Scale vornehmen kann.

7. Eine Undichtheit des Instrumentes erkennt man daran, daß das Quecksilber nach dem Einstellen auf die Marke m geneigt ist, über diese Marke zu steigen. Bleibt das Quecksilber jedoch an der Marke m ungefähr eine Minute stehen, ohne darüber hinaus zu steigen, so ist das Instrument genügend dicht, da ja die Temperaturbestimmung nur so kurze Zeit in Anspruch nimmt, daß während derselben keine irgend erheblichen Luftmengen aus dem Pyrometer entweichen können.

8. Ober der Marke m ist eine kleine, mit Asbest gefüllte Kugel a angebracht, welche zwar der Luft den Durchtritt gewährt, das Quecksilber aber zurückhält. Diese Kugel verhindert also, daß bei unvorsichtiger Handhabung des Instrumentes das Quecksilber in die Pyrometerröhre getrieben werden kann. *Gleichwohl soll man es sich jedoch zur Regel machen, das Quecksilber niemals höher als bis zum Zeichen m hinaufzudrücken.*

9. So lange die Pyrometerkugel in schneller Erwärmung oder Abkühlung begriffen ist, kann keine Temperaturbestimmung gemacht werden.

Die Tabellen LXXI und LXXII des Anhanges enthalten eine Vergleichung der Ablesungen am Luftthermometer und am Quecksilberthermometer.

Schließlich wollen wir nur noch bemerken, daß mit dem in Rede stehenden Instrumente Temperaturen bis 1500° C. (über welcher Temperatur das Porzellanrohr zu erweichen beginnt) und zwar mit einem mittleren Fehler von nur etwa ± 10° C.

gemessen werden können, und daß derartige Messungen in 1/4 bis 1/2 Minute ausgeführt sind.*)

Fig. 30.

Recht brauchbar zur Messung von Temperaturen bis gegen 800° ist auch das Thalpotasimeter von Klinghammer in Braunschweig (D. R. P. Nr. 8101, 8315 und 9285), das in Fig. 30 ersichtlich ist. Die Temperaturbestimmung erfolgt hier aus der Spannkraft verschiedener Flüssigkeiten.

Das Instrument besteht aus einem die Flüssigkeit enthaltenden Rohre und aus einem Manometer. Man benützt,

flüssige Kohlensäure	von	— 65°	bis	+ 12·5 °C.
" schweflige Säure	"	— 10°	"	+ 100 °C.
wasserfreien Aether	"	+ 35°	"	120 °C.
destillirtes Wasser	"	100°	"	226 °C.
schwer flüchtige Kohlenwasserstoffe	"	216°	"	360 °C.
und Quecksilber	"	357°	"	780 °C.

Besonders letzterer Körper ist sehr gut gewählt, da seine Moleküle aus einzelnen Atomen bestehen, also die innere Arbeit eine sehr einfache ist.

Auch bei diesen Pyrometern muß man das Einführen in den Raum, dessen Temperatur gemessen werden soll, recht langsam vornehmen, um das Instrument nicht zu gefährden.

II. Capitel.

Pyrometer, welche auf der Verschiedenheit der Schmelzpunkte gewisser Legirungen 2c. beruhen.

Hierher gehören in erster Linie die Princep'schen Legirungen, deren Schmelzpunkte von Dr. Th. Erhard und Dr. A. Schertel mittelst des Luftpyrometers neu bestimmt

*) Wiborgh's Luftpyrometer sind durch den Verfasser zum Preise von 200 Mark exclusive Fracht zu beziehen, der auch Reparaturen besorgt und bereitwillig Auskünfte über diese Instrumente ertheilt.



wurden. Dieselben fanden Zusammensetzung und Schmelzpunkte der fraglichen Legirungen wie folgt: (Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen, 1879)

Zusammensetzung in Procenten	Schmelzpunkte	Zusammensetzung in Procenten	Schmelzpunkte
Gold-Silber-Legirungen.		70 Gold 30 Platin	1255 °C
100 Silber — Gold	954 °C	65 „ 35 „	1285 „
80 „ 20 „	975 „	60 „ 40 „	1320 „
60 „ 40 „	995 „	55 „ 45 „	1350 „
40 „ 60 „	1020 „	50 „ 50 „	1385 „
20 „ 80 „	1045 „	45 „ 55 „	1420 „
— „ 100 „	1075 „	40 „ 60 „	1460 „
		35 „ 65 „	1495 „
Gold-Platin-Legirungen.		30 „ 70 „	1535 „
100 Gold — Platin	1075 „	25 „ 75 „	1570 „
95 „ 5 „	1100 „	20 „ 80 „	1610 „
90 „ 10 „	1130 „	15 „ 85 „	1650 „
85 „ 15 „	1160 „	10 „ 90 „	1690 „
80 „ 20 „	1190 „	5 „ 95 „	1730 „
75 „ 25 „	1220 „	— „ 100 „	1775 „

Der Fehler der obigen Schmelzpunktsbestimmungen beträgt im Allgemeinen weniger als 20° C. dürfte aber in den meisten Fällen weit geringer sein. Die angeführten Schmelzpunkte sind bis zu einer Temperatur von 1400° C. wirklich mit dem Luftthermometer gemessen worden; die höheren Werthe wurden durch graphische Interpolation unter Zuhilfenahme der von Violle ermittelten Schmelztemperatur des Platins bestimmt.

Ein wichtiges Erfordernis bei Temperaturbestimmungen nach dieser Methode ist die Anwendung genügend reiner Metalle zur Anfertigung der Princep'schen Legirungen. Es ist daher wohl am besten, sich dieselben selbst rein darzustellen, oder, wo dies nicht möglich sein sollte, sie nur von einer zuverläßlichen Quelle zu beziehen. Erhard und Schertel erhielten die reinen Metalle auf nachfolgende Weise: das Silber war aus verdünnter, ammoniakalischer Lösung durch schwefligsaures Ammonium gefällt, Gold wurde nach einer ersten Fällung mit Eisenvitriol in Natriumgoldchlorid übergeführt und aus der Lösung der reinen Krystalle mit Oxalsäure nieder-

geschlagen. Zur Reinigung des Platins wurde Platinsalmiak nach der Vorschrift von Claus mit Schwefelwasserstoffwasser behandelt, um Iridium zu Sesquichlorid zu reduciren; der aus Iridiumfreiem Platinsalmiak erhaltene Schwamm wurde vor der Knallgasflamme auf Kreideunterlage geschmolzen. Die verschiedenen benöthigten Mischungsverhältnisse stellt man am bequemsten her, wenn man sich die reinen Metalle zu Draht ziehen läßt (was allerdings — wegen ihrer geringeren Festigkeit — bei reinem Gold und Silber etwas schwieriger ist, aber doch bis zu Drahtdicken von $^1/_2$ *mm* ganz gut gelingt.) Von den Drähten mißt man sich eine bestimmte Länge (aber nicht zu kurz!) genau ab und bestimmt das Gewicht derselben. Für jeden einzelnen Fall berechnet man sich dann die für ein bestimmtes Gewichtsverhältniß benöthigten Drahtlängen. Dies ist bequemer und meist auch genauer als die directe Wägung, da man ja von den fertigen Legirungen nur $^1/_{10}$ bis $^1/_6$ Gramm benöthigt, indem es gut ist — selbst wenn man einen größeren Vorrath an Legirungen herstellen will — dieselben in den erwähnten kleinen Partien anzufertigen, da beim Schmelzen größerer Mengen die Legirungen leicht ungleichmäßige Zusammensetzung zeigen.

Das Zusammenschmelzen erfolgt vor dem Löthrohre auf einer Unterlage aus Kreide; doch lassen sich nur die Silber-Goldlegirungen mittelst des gewöhnlichen Löthrohres genügend in Fluß bringen. Zum Schmelzen der Platin-Gold-Legirungen muß man sich entweder einer Gas-Sauerstoff Flamme bedienen, oder mittelst eines gewöhnlichen Löthrohres Sauerstoff in die Flamme eines Gemenges von 2 Volumtheilen Aether und einem Volumtheile absolutem Alkohol — die man in einer gewöhnlichen Weingeistlampe brennt — einblasen. Man schmilzt die Gold-Platinlegirungen erst so gut es geht mittelst des gewöhnlichen Löthrohres zusammen, und setzt sie erst zum Schlusse — um völlige Schmelzung zu erreichen — auf einige Secunden dem Sauerstoffgebläse aus. Man thut dies, um die Verflüchtigung von Gold — also die Bildung platinreicherer Legirungen, als beabsichtigt — zu verhindern.

Die geschmolzenen Metallkörner zeigen nach raschem Erkalten eine feine krystallinische, nach langsamem Erkalten eine grob krystallinische Oberfläche von netzartiger Struktur. Sie

sind mit einer bemerkenswerthen Neigung zur Entmischung behaftet. Dieselbe macht sich bemerklich durch Auftreten eines gelblicheren Farbentones, und wird nicht bloß ersichtlich, wenn die Legirung geschmolzen und langsam erkaltet war, sondern auch, wenn dieselbe längere Zeit in einer dem Schmelzpunkte nahen Temperatur verweilt hatte. Die mit dem Stahlhammer erzeugte Schlagfläche wird dann krystallinisch und die graue Farbe weicht einer gelblichen. Die Legirungen mit 15% bis 40% Platin zeigen diese Veränderlichkeit am stärksten; sie müssen dann aufs Neue mit der Knallgasflamme umgeschmolzen werden. Auch die Legirungen von Gold und Silber nehmen unter denselben Bedingungen krystallinische Struktur an. Doch wird die Oberfläche bei diesen nicht rauh, sondern zeigt Flächen von verschiedenem Glanze.

Die Legirungen, die man um das stattgefundene Schmelzen an der Formveränderung leichter zu erkennen, mit einem Hammer flach schlägt, werden auf Capellen aus einem Gemenge von feuerfestem Thon und Quarz der zu messenden Temperatur ausgesetzt, wenn keine reducirende Flamme auf sie einwirkt. Sollte dies jedoch der Fall sein, so bedecken sich die Platin-Goldlegirungen mit einer dünnen Schlackenhaut, und zeigen einen bedeutend niederen Schmelzpunkt. So waren bei einem Versuche mit reducirender Flamme sämmtliche eingesetzte Legirungen geschmolzen gewesen. Während nun für die schwerst schmelzbare derselben (mit 47% Platin) eine Temperatur von 1364° zu erwarten stand, ergab die Beobachtung am Luftthermometer nur 1247°. Diese Veränderung ist wahrscheinlich der Aufnahme von Silicium zuzuschreiben, und nöthigt in allen Fällen, in welchen die Temperatur reduzirender Flammen bestimmt werden soll, eine quarzfreie Unterlage — etwa Magnesia oder nach Plattner reine, quarzfreie Thonmasse zu wählen.

Um die Genauigkeit der obigen Schmelzpunktsangaben für die Prinсep'schen Legirungen einigermaßen beurtheilen zu können, mögen die Versuchsresultate von Erhard und Schertel mitgetheilt werden:

Nr. des Versuches	Mittelst des Luftpyrometers gefundene Temperatur	Zusammensetzung der letzten geschmolzenen Legirung	Bemerkungen
1	984°	90% Ag + 10% Au	
2	963°	80 „ „ + 20 „ „	
3	987°	70 „ „ + 30 „ „	
4	999°	70 „ „ + 30 „ „	
5	1053°	30 „ „ + 70 „ „	
6	1073°	Gold	
7	1076°	„	
[illegible]	1076°	90% Au + 2% Pt	
[illegible]	1090°	93 „ „ + 7 „ „	
[illegible]	1138°	93 „ „ + 7 „ „	
[illegible]	1188°	87 „ „ + 13 „ „	
	1161°	87 „ „ + 13 „ „ bis 85 „ „ + 15 „ „	Bei diesem Versuche war wahrscheinlich in Folge etwas zu langer Dauer, die Grenze zwischen geschmolzenen und nur stark gesinterten Legirungen nicht ganz scharf zu erkennen.
	1170°	85 „ „ + 15 „ „	
	1207°	80 „ „ + 20 „ „	
	1204°	80 „ „ + 20 „ „	
	1224°	76 „ „ + 24 „ „	
	1262°	69 „ „ + 31 „ „	
	1263°	70 „ „ + 30 „ „	
	1316°	60 „ „ + 40 „ „	
	1391° bis 1408°	50 „ „ + 50 „ „ bis 48 „ „ + 52 „ „	Die Pressung bei hoher Temperatur war kurze Zeit um ungefähr 6 *mm* höher, als während der übrigen Zeit, und es ergab sich die Zahl 1408° aus der höheren Zahl; dabei zeigten die Legirungen mit 51 und 52% Platin entschieden beginnende Schmelzung, so daß also 1391 vielleicht für 50%, 1408 für 52% gelten dürfte.

er Schmelzpunkt des Platins wurde — nach Violle's
etrischen Messungen — mit 1775° C. angesetzt.

In neuerer Zeit sind die **Kegel-Pyrometer**, resp. **Pyroskope** von **Seger** stark in Aufnahme gekommen. Derselbe hat Probekegel aus Gemengen von Quarz, Kaolin, weißem Marmor und Feldspath hergestellt, indem er aus dem trockenen Gemenge nach Befeuchten mit schwachem Gummiwasser Tetraëder von 6 *cm* und 1·5 *cm* Seitenlänge der dreieckigen Basis formt. Für niedere Temperaturen wird ein Theil der Thonerde durch Eisenoxyd ersetzt.

Die oben mit einer Nummer versehenen Tetraëder werden zweckmäßig in kleine Hängeschalen aus Chamotte gesetzt und mittelst einer Stange, die durch ein am oberen Theile der Schale befindliches Loch gesteckt wird, in den Raum gesetzt, dessen Temperatur gemessen werden soll. Jedes Tetraëder ist aber mit einer Nummer bezeichnet. Als Schmelzpunkt bezeichnet man jenen Moment, wo das Probekegelchen zu erweichen beginnt nnd die umsinkende Spitze die Chamotteunterlage berührt. Bei noch höherer Temperatur fließt das Ganze zu einem Emailtropfen auseinander.

Zusammensetzung und Schmelzpunkt dieser Pyroscope wird wie folgt angegeben:

Nr.	Chemische Formel in Aequivalenten	Zusammensetzung					Schmelzpunkt in °C	Unterschied einer Stufe von der nächsten
		Feldspath	Marmor	Quarz	Eisenoxyd	Kaolin		
1	$0·3K_2O\,(0·2Fe_2O_3)$ / $0·7CaO\,(0·3\,Al_2O_3)$ } $4SiO_2$	83·55	35·00	66·00	16·00	—	1150	
2	$0·3K_2O\,(0·1Fe_2O_3)$ / $0·7CaO\,(0·4\,Al_2O_3)$ } $4\,SiO_2$	83·55	35·00	60·00	8·00	12·95	1179	
3	$0·3K_2O\,(0·5\,Fe_2O_3)$ / $0·7CaO\,(0·45Al_2O_3)$ } $4\,SiO_2$	83·55	35·00	57·00	4·00	19·43	1208	
4	$0·3\,K_2O$ / $0·7\,CaO$ } $0·5\,Al_2O_3, 4\,SiO_2$	83·55	35·00	54·00	—	25·90	1327	
5	$0·3\,K_2O$ / $0·7\,CaO$ } $0·5\,Al_2O_3, 5\,SiO_2$	83·55	35·00	84·00	—	25·90	1266	$0·1\,Al_2O_3$ $1·0\,SiO_2$ (Nr. 5–9)
6	$0·3\,K_2O$ / $0·7\,CaO$ } $0·6\,Al_2O_3, 6\,SiO_2$	83·55	35·00	108·00	—	38·55	1295	
7	$0·3\,K_2O$ / $0·7\,CaO$ } $0·7\,Al_2O_3, 7\,SiO_2$	83·55	35·00	132·00	—	51·80	1323	
8	$0·3\,K_2O$ / $0·7\,CaO$ } $0·8\,Al_2O_3, 8\,SiO_2$	83·55	35·00	156·00	—	64·75	1352	
9	$0·3\,K_2O$ / $0·7\,CaO$ } $0·9\,Al_2O_3, 9\,SiO_2$	83·55	35·00	180·00	—	77·70	1381	

Chemische Formel in Aequivalenten	Zusammensetzung					Schmelzpunkt in °C	Unterschied einer Stufe von der nächsten
	Feldspath	Marmor	Quarz	Eisenoxyd	Kaolin		
·3 K_2O ·7 CaO} 1·0 Al_2O_3, 10 SiO_2	83·55	35·00	204·00	—	90·65	1410	0·2 Al_2O_3 2·0 SiO_2
·3 K_2O ·7 CaO} 1·2 Al_2O_3, 12 SiO_2	83·55	35·00	252·00	—	116·55	1439	
·3 K_2O ·7 CaO} 1·4 Al_2O_3, 14 SiO_2	83·55	35·00	300·00	—	142·45	1468	
·3 K_2O ·7 CaO} 1·6 Al_2O_3, 16 SiO_2	83·55	35·00	348·00	—	168·35	1497	
3 K_2O 7 CaO} 1·8 Al_2O_3, 18 SiO_2	83·55	35·00	396·00	—	194·25	1526	
3 K_2O 7 CaO} 2·1 Al_2O_3, 21 SiO_2	83·55	35.00	468·00	—	233·10	1555	0·3 Al_2O_3 3·0 SiO_2
3 K_2O 7 CaO} 2·4 Al_2O_3, 24 SiO_2	83·55	35·00	540·00	—	271·95	1584	
3 K_2O 7 CaO} 2·7 Al_2O_3, 27 SiO_2	83·55	35·00	612·00	—	310·80	1613	
3 K_2O 7 CaO} 3·1 Al_2O_3, 31 SiO_2	83·55	35·00	708·00	—	362·00	1642	0·4 Al_2O_3 4 SiO_2
K_2O CaO} 3·5 Al_2O_3, 35 SiO_2	83·55	35·00	804·00	—	414·40	1670	
K^2O CaO} 3·9 Al_2O_3, 39 SiO_2	83·55	35·00	900·00	—	466·20	1700	

Die mitgetheilten Schmelzpunkte wurden in nachfolgender geschätzt:

Nr. 1 schmilzt etwas schwerer als die Legirung aus Gold und 10% Platin (Schmelzpunkt nach Erhard Schertel = 1130° C.); somit wurde ihr Schmelzpunkt 50° angenommen.

Nr. 20 schmilzt früher als Platin; der Schmelzpunkt daher auf ca. 1700° geschätzt.

Unter der weiteren Annahme, daß die Schmelzpunkte aller gel gleich weit von einander abstehen (was übrigens hlich nicht der Fall ist) berechnet sich der Unterschied chmelzpunkte zweier benachbarter Nummern zu

$$\frac{1700-1150}{19} = 28{\cdot}9^{\circ}.$$

C. Bischof, der diese Pyroskope einer näheren Prüfung unterzog, fand den Schmelzpunkt selbst der höchsten derselben weit unter der Platinschmelzhitze; die Schmelzpunkte der Nummern 13, 14, 15 und selbst 17 liegen nach ihm wenig über der Schmelzhitze des Palladiums (1500°) und überdies lassen diese Pyroskope mehrfache Unregelmäßigkeiten untereinander bemerken.

Ueberdies können wir die Bemerkung nicht unterdrücken, daß alle auf der Schmelzung von Körpern bekannten Schmelzpunktes basirenden Pyrometer nur einen beschränkten Werth besitzen, indem sie nur steigende oder constant bleibende Temperaturen sowie Temperaturmaxima überhaupt zu beobachten gestatten, es jedoch unmöglich ist, nach auf- und abwärts gehende Schwankungen der Temperatur mittelst derselben zu verfolgen, was ja in den meisten Fällen von Wichtigkeit ist.

III. Capitel.

Temperaturmessungen mittelst des Calorimeters.

Die calorimetrischen Messungen der Temperatur erfolgen in der Weise, daß man einen Körper von bestimmtem Gewicht p so lange in dem Raume, dessen Temperatur gemessen werden soll, beläßt, bis er dieselbe angenommen hat. Bringt man ihn nun in eine gewogene Menge Wasser von bestimmter Temperatur, so wird letzteres nach einiger Zeit eine höhere Temperatur annehmen. Hieraus berechnet sich leicht die Wärmemenge Q, welche der Probekörper an das Wasser abgegeben hat. Kennt man überdies seine specifische Wärme c, so ist auch seine Wärmecapacität p c bekannt, und man erhält die fragliche Temperatur leicht nach der Gleichung

$$T = \frac{Q}{c \cdot p}$$

Wir müssen uns hier jedoch nicht allein mit den Temperaturbestimmungen mittelst des Calorimeters beschäftigen, sondern auch erwähnen, wie man mittelst dieser Instrumente Wärmemengen messen kann, die von verschiedenen Stoffen in

unseren Feuerungsanlagen aufgenommen werden (z. B. von schmelzenden Metallen oder Schlacken, vom schmelzenden Glase in Glasöfen, von gebrannten Ziegeln in Ziegelöfen 2c. 2c.)

Von den für Temperaturbestimmungen construirten Calorimetern müssen wir zunächst die verschiedenen von Weinhold angegebenen erwähnen.

Ueber das erstere derselben schreibt Weinhold (im Osterprogramme der k. höheren Gewerbeschule zu Chemnitz, 1873) Folgendes:

Die wesentlichsten Fehlerquellen bei calorimetrischen Temperaturbestimmungen sind die mangelhafte Kenntniß der specifischen Wärme der angewandten Körper in hohen Temperaturen, die Wärmebindung durch Verdampfung beim Einbringen des erhitzten Körpers in das Wasser des Calorimeters, und die Wärmezufuhr, die das Calorimeter, durch Strahlung und Leitung von außen erfährt.

Für Temperaturbestimmungen, zumal zu technischen Zwecken, sind die bei Bestimmungen der specifischen Wärme angewendeten Vorsichtsmaßregeln und Correctionsrechnungen viel zu complicirt; soll das Calorimeter als Pyrometer brauchbar sein, so muß seine Construction die Verdampfung und die Wärmezufuhr von außen (ein Wärmeverlust wird unter den Umständen, in denen das Calorimeter als Pyrometer gebraucht wird, kaum vorkommen) soweit herabdrücken, daß dieselben vernachlässigt werden dürfen. Bei der gebräuchlichen, offenen Form der Calorimeter ist der Einfluß der Verdampfung bedeutend, zumal, wenn der eingetauchte Körper über 100° warm ist, weil dann, selbst bei langsamem Eintauchen neben der Verdampfung ein Wegspritzen von Wassertröpfchen stattfindet, so daß die Menge des wirklich verdampften Wassers nicht einmal durch Wägung des Calorimeters controllirt werden kann. Ist der eingetauchte Körper heiß genug, um das Leidenfrost'sche Phänomen hervorzurufen, so wird der Fehler sehr veränderlich; bei langsamem Eintauchen kommt das Phänomen vollkommen zu Stande und Verdampfung und Verspritzen werden gering, während schnelleres Einsenken ein lebhaftes Zischen bewirkt.

Nach verschiedenen Versuchen, die kein brauchbares Resultat gaben, erhielt das Calorimeter schließlich die im Folgenden beschriebene Form, die keineswegs zu Bestimmungen der specifischen Wärme im Allgemeinen dienen soll, sondern nur für Metallkugeln zu Temperaturmessungen bestimmt ist.

Fig. 31.

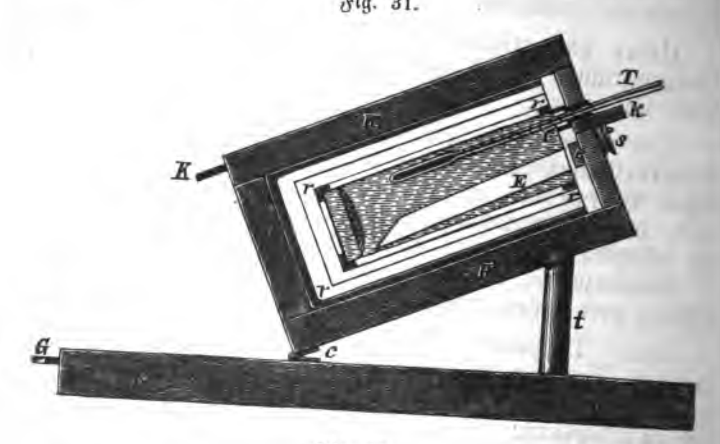


Fig. 32.

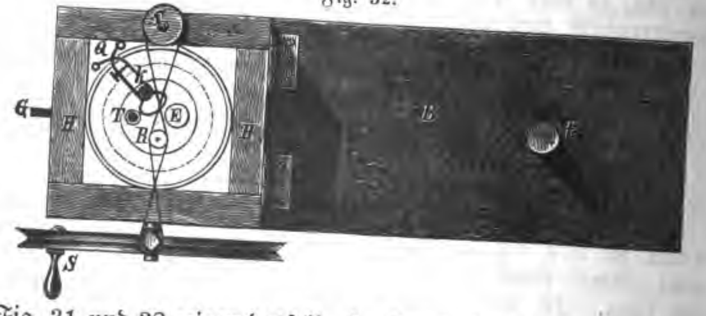


Fig. 31 und 32 zeigen dasselbe im Durchschnitt und von oben gesehen. Das cylindrische Gefäß CC aus ganz dünnem Messingblech ist oben durch einen Deckel mit vier Oeffnungen verschlossen. Von diesen sind zwei mit ganz kurzen, nach aufwärts gerichteten Rohransätzen versehen, in deren einem das Ther-

mometer T luftdicht eingesetzt ist, während der zweite ein Stück Kautschukschlauch K trägt, welcher mittelst des Quetschhahnes Q verschlossen werden kann. In die beiden anderen Oeffnungen sind längere, nach abwärts gerichtete Röhren eingesetzt. Die zum Einbringen der Kugeln bestimmte Röhre E ist unten schräg abgeschnitten und mit dem untersten Punkte an die Wand des Gefäßes CC befestigt; die andere, in der Figur nicht sichtbare Röhre, ist ganz eng und umgibt die Axe einer Rührvorrichtung, die mittelst des Schnurrades R in Bewegung gesetzt werden kann. Das dünnwandige Rohr, in welchem sich das Schraubenrad dieses Rührers befindet, ist oben und unten nur wenig kürzer, als das Gefäß CC; das Schraubenrad sitzt ganz im untersten Theile des Rohres, und die enge Röhre, welche die Axe umgibt, reicht bis dicht an das Schraubenrad hinan. Nahe über dem Boden von CC ist ein dünnes, weitmaschiges Drahtnetz in etwas geneigter Lage angebracht, so daß der, bei aufrechter Stellung des Ganzen, tiefste Punkt dieses Netzes gerade unter der Rührvorrichtung liegt. Zwei hölzerne Ringe rr haben jeder vier einwärts gerichtete Ansätze, die das Gefäß CC halten. Diese Ringe sind befestigt an dem inneren von zwei concentrischen Weißblechcylindern, die ihrerseits von einem Glascylinder umgeben sind; der Glascylinder ist in einen viereckigen Holzkasten HH eingesetzt und darin durch Korkstückchen gehörig festgeklemmt. Ein Deckel aus Weißblech (in Fig. 32 weggelassen) schützt das Gefäß CC thunlichst gegen Wärmestrahlung von oben. Er hat vier Oeffnungen, welche denen des Deckels von CC entsprechen; die mit e bezeichnete Oeffnung hat einen abwärts gebogenen Rand, der CC fast berührt. Der Kasten HH ist auf dem Brette BB mit zwei Charnieren cc befestigt; in liegender Stellung wird er durch einen Träger t gestützt; in aufrechter Stellung wird er gehalten durch eine Klinge K, in welche beim Aufrichten des Kastens eine in das Brett BB eingelassene Feder G eingreift, die man mit der Hand zurückdrückt, wenn der Kasten wieder umgelegt werden soll. Ein Schnurrad S, mittelst einer Kurbel zu drehen, ist an der Seitenwand von HH befestigt; eine dünne Schnur geht von diesem Rade durch zwei gläserne Oesen über R und eine Leitrolle s.

Soll das Calorimeter gebraucht werden, so gibt man ihm die aufrechte Stellung, öffnet den Quetschhahn Q und füllt durch E das Gefäß CC ganz mit Wasser an, schließt dann Q und entleert E zum größten Theile von Wasser durch Saugen mittelst einer Pipette, Fig. 33, die mit einem Ansatz versehen ist, der sich auf den Deckel dd auflegt, so daß die Pipette immer bis zu der nämlichen Tiefe in E eintaucht, und dieses immer gleich weit entleert wird. E soll nur so weit mit Wasser gefüllt bleiben, daß beim Umlegen des Calorimeters keine Luftblasen in CC eintreten. Das enge die Axe des Rührers umgebende Rohr hat ebenfalls den Zweck, das Eintreten von Luft zu verhindern. Durch das Umlegen wird ein Verlust von Wasser beim Einwerfen der Kugel beseitigt; aufspritzende Tropfen bleiben an den Wänden von E hängen und auch die geringe Dampfmenge, welche sich bildet, wird von diesen Wänden zum größten Theile verdichtet. Unmittelbar nach dem Einwerfen der erhitzten Kugel wird das Calorimeter aufgerichtet und die Rührvorrichtung in Bewegung gesetzt — das Thermometer wird sehr rasch stationär.

Fig. 33.

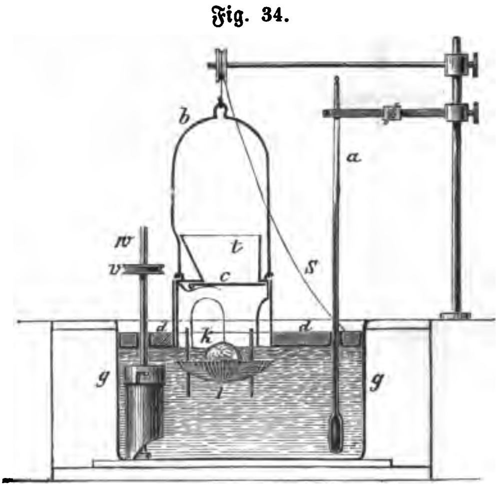
Um die Kugel wieder aus dem Calorimeter zu entfernen, dient ein Kugelzieher; ein kurzes Rohr von solcher Weite, daß es sich gerade durch E einschieben läßt, ist am oberen Ende mit einem Stiel versehen, am unteren Ende durch einen schwach gewölbten Boden verschlossen; die Wand aber ist am unteren Theile auf einer Seite entfernt. Die dadurch gebildete seitliche Oeffnung muß beim Einführen des Rohres nach R gerichtet sein, dann rollt beim Umlegen des Calorimeters die Kugel in das Rohr und läßt sich, nachdem man dasselbe so gedreht hat, daß die seitliche Oeffnung nach oben gerichtet ist, mit dem Rohre herausziehen. Falls die Kugel nicht unmittelbar beim Umlegen in den Kugelzieher rollt, hilft man etwas nach, durch Kippen des umgelegten Calorimeters um die Hinterkante von BB.

Um das Instrument, in das beim Ausholen der Kugel Luft eintreten kann, wieder zum Versuche vorzurichten, muß man Q öffnen, E füllen und dann wieder aussaugen. Es empfiehlt sich E vor dem Oeffnen von Q zu füllen, weil

sonst das beim Oeffnen von Q in E rasch aufsteigende Wasser leicht überfließt.

Bei den von Weinhold ausgeführten Versuchen waren die Dimensionen des Calorimeters und der Kugel klein, um die Verdampfung durch Wägung controlliren zu können; sie wog nie über 6 *mg*. Wegen der geringen Größe war die Metallmasse des Calorimetergefäßes relativ groß; es wog 77·15 *g* und faßte je nach dem angewandten Thermometer 175·7 *g*, beziehungsweise 171·8 *g* Wasser; die Wasserwerthe des gefüllten Gefäßes waren 183·0 *g*, beziehungsweise 180·4 *g*. Das eine Thermometer, von Geißler in Berlin, direct in Zehntelgrade getheilt, gestattet eine Ablesung von Hundertel-Graden; das andere, vom Verfasser selbst hergestellt, hat Millimeterscala, von der 1 *mm* etwa 0·045° entspricht — für beide sind selbstverständlicher Weise die Correctionen ermittelt.

Fig. 34.



Mittelst dieses Calorimeters wurden die im Anhange mitgetheilten specifischen Wärmen von Platin und Schmiedeisen bestimmt, und letzteres zur Messung höherer Temperaturen verwendet. Ein Irrthum um $\frac{1}{20}$ der zu messenden Gradzahl (5 %) kann dabei allenfalls vorkommen, doch kann ein solcher Fehler noch nicht als groß bezeichnet werden.

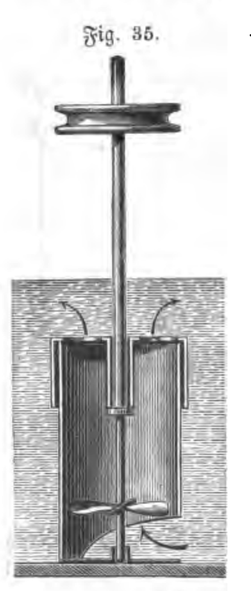
Zur Berechnung der Temperaturen dient am besten eine Tabelle (Tafel LXXIV des Anhanges), welche die Wärmemengen angibt, die zur Erwärmung der Gewichtseinheit des

Eisens von 0 auf verschiedene Temperaturen nöthig sind. Man berechnet aus dem Ergebniß des Calorimeterversuches die Wärmemenge, welche ein Kilogramm Eisen caeteris paribus abgeben würde, fügt den der Endtemperatur des Calorimeters entsprechenden Werth aus der Tabelle hinzu und entnimmt für die erhaltene Summe aus der Tabelle die entsprechende Temperatur.

Später hat Weinhold ein anderes Calorimeter für pyrometrische Zwecke angegeben, dessen Einrichtung aus Fig. 34 ersichtlich ist.

Auf dem im Gefäße g befindlichen Wasser schwimmt ein Deckel d mit drei Öffnungen, durch welche die senkrechte Welle w des Rühraparates, das Thermometer a und ein Trichter t aus dem Wasser ragen. Der Trichter wird vor dem Einbringen der schmiedeisernen Kugel K ins Calorimeter durch den Drahtbügel b und die Schnur s in der Schwebe gehalten; wenn aber die Kugel durch die Öffnung c auf das Sieb l geworfen worden ist, wird er so weit niedergelassen, daß die die Öffnung c schließende Klappe mit dem Wasser in Berührung kommt. Es soll dadurch der Fehler, welcher bei offenen Calorimetern durch Verdampfung des Wassers nach dem Einwerfen der Kugel entsteht, vermindert werden. Der Rührapparat soll durch kräftige Circulation des Wassers eine gleichmäßige Temperatur desselben bewirken. Die Einrichtung desselben ist aus Fig. 35 ersichtlich.

Fig. 35.



Ein rechtwinklig gebogener Streifen Flacheisen, trägt am unteren Ende des verticalen Theiles ein Messingrohr von etwa 25 *mm* lichter Weite. In diesem Rohr befindet sich ein Schraubenrädchen mit vier oder sechs schräg stehenden Flügeln, das in einfachster Weise aus einer runden Blechscheibe durch radiales Einschneiden und Biegen der Sectoren hergestellt ist.

Das Rädchen ist auf eine stählerne Axe aufgelöthet, die Axe ist unten konisch zugespitzt und in zwei messingenen Armen gelagert, deren unterer mit einer conischen Vertiefung und deren oberer mit einer cylindrischen Durchbohrung zum Durchlassen der Axe versehen ist. Am oberen Ende ist die Axe vierkantig gefeilt. Auf diesen Theil wird ein hölzernes Schnurrädchen aufgesteckt. Das Rohr, in dem das Schraubenrädchen läuft, soll etwa 2 *cm* kürzer sein, als die Höhe der umzurührenden Flüssigkeit. Es wird etwa 10 *cm* lang gemacht und erforderlichen Falles durch Ansatzröhren, die sich mit einiger Reibung über sein unteres Ende schieben lassen, verlängert. Senkt man die Vorrichtung so weit in eine Flüssigkeit, daß das obere Rohrende ca 1 *cm* unter dem Niveau der Flüssigkeit liegt und versetzt das Rädchen durch eine über die Rolle geführte Schnur in rasche Umdrehung, so wird ein lebhafter Strom von Flüssigkeit durch das Rohr getrieben.

Fig. 36.

Das Thermometer hatte eine in $^1/_5$ Grade getheilte Papierscala.

C. H. Schneider hat (Ztschft. des Ver. dtsch. Ingenieure, Bd. XIX, p. 5) mit diesem Instrumente die specifische Wärme des Schmiedeisens bei verschiedener Temperatur ebenfalls bestimmt, und gefunden, daß die von Weinhold gegebene Formel für die mittlere specifische Wärme desselben zwischen T und t^0 Celsius

$$c = c_0 + \alpha\,(T + t) + \beta\,[T^2 + t^2 + (T + t)^2]$$

worin:

$c_0 = 0{\cdot}105907$

$\alpha = 0{\cdot}00003269$

$\beta = 0{\cdot}000\,000\,011\,08$

den Messungen entsprach (siehe oben p. 50). Am Apparate selbst stellten sich jedoch einige Unbequemlichkeiten heraus,

welche namentlich durch den Bügel b, den beweglichen Trichter t und den schwimmenden Deckel d hervorgerufen wurden. Aus diesen Gründen gab ihm Schneider die in Fig. 36 dargestellte Form. Mit Ausnahme des festen doppelwandigen Deckels d, und des Trichters t, der mit seinem Rande auf dem Deckel aufsitzt und in die Höhe gehoben werden kann, wenn man die Kugel vom Siebe entfernen will, ist die Einrichtung wie beim Weinhold'schen Apparate.

Für den praktischen Gebrauch wird das Gefäß g in ein Gefäß m aus starkem Weißblech eingesetzt und gegen dasselbe durch starke Pappendeckel p isolirt, so daß sich zwischen den Wandungen beider Gefäße eine stagnirende Luftschichte befindet. Die Rolle v des Rührapparates ragt aus dem Eimer und um sie wird die Schnur gelegt, mittelst deren der Rührapparat in Rotation gesetzt wird.

Sollte in Folge der Einflüsse des Ortes, an dem man experimentirt, eine Erwärmung oder Abkühlung des Wassers im Calorimeter stattfinden, so ermittelt man ihren Betrag zur Zeit der Temperaturbestimmung durch ein zweites, gleich ausgestattetes Calorimeter.

Soll nun die Temperatur T eines Raumes ermittelt werden, so wird die schmiedeiserne Kugel k hinlängliche Zeit in diesem Raume gehalten und dann in das Calorimeter geworfen, dessen Anfangs- und Endtemperatur t_0 und t man beobachtet. Ist P das Gewicht der Kugel, G der Wasserwerth des Calorimeters, W das Gewicht des Wassers in demselben, so findet man T mittelst der Formel

$$c\,P\,(T-t) = (G+W)\,(t-t_0)$$

in welcher für c der oben angegebene Werth zu setzen ist; doch bedient man sich zweckmäßig hierzu der im Anhange gegebenen schon erwähnten Tabellen.

Die Größe der Kugel und den Wasserraum des Calorimeters nimmt man am besten je nach der Höhe der zu berechnenden Temperatur verschieden und sorgt nach dieser Richtung für genügende Auswahl. Für Temperaturen, wie sie bei Dampfkesselanlagen vorkommen, fand Schneider folgende Verhältnisse passend.

Zur Bestimmung für Temperaturen	W	P
im Feuerraume	2·000 *kg*	0·1 *kg*
hinter der Feuerbrücke	1·800 „	0·085 „
am Ende des ersten Canales	1·500 „	0·07 „
am Ende des Kessels	1·000 „	0·06 „

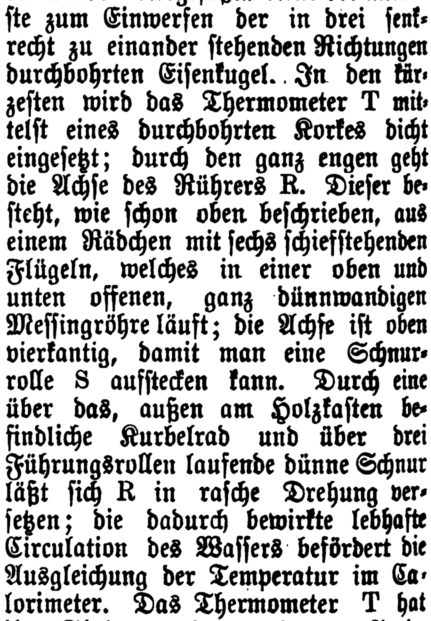
Wird eine Kugel bei der Benützung nicht glühend, so kann man sie lange gebrauchen; anfangs wird sie zwar in Folge der Oxydation der Oberfläche schwerer, aber sehr bald nimmt man keine Gewichtszunahme mehr wahr, und es genügt daher ein einmaliges genaues Wägen. Wird die Kugel glühend, so lösen sich Oxydschichten ab, und es wird daher nach mehrmaligem Gebrauche eine neue Wägung nöthig.

Fig. 37.

Zuletzt hat Weinhold in Post „Chemisch technische Analyse“ zur Bestimmung höherer Temperaturen das nachfolgende Calorimeter angegeben (Fig. 37). Das eigentliche Calorimetergefäß CC besteht aus dünnem Messingblech. Es faßt circa 1 *kg* Wasser und ist unten cylindrisch, oben konisch. Das Verhältniß der Höhe zum Durchmesser ist so gewählt, daß die Oberfläche thunlichst klein ist, um den Verlust oder die Zufuhr von Wärme durch Strahlung und Leitung möglichst zu vermindern. Ein cylindrisches Gefäß von blankem

Weißblech, BB, mit losem konischem Deckel, DD umgibt in einem Abstande von etwa 1 *cm* das Calorimetergefäß, das durch drei passend geschnittene in BB eingekittete Korkstücke getragen wird. BB ist in dem hölzeren Kasten HH befestigt. Da Holz und stagnirende Luft die Wärme sehr schlecht leiten, und blankes Metall die Wärmestrahlung abhält, ist auf solche Weise eine sehr vollkommene Wärme-Isolation erzielt. Von den drei cylindrischen Hälsen des Calorimetergefäßes dient der mittelste zum Einwerfen der in drei senkrecht zu einander stehenden Richtungen durchbohrten Eisenkugel. In den kürzesten wird das Thermometer T mittelst eines durchbohrten Korkes dicht eingesetzt; durch den ganz engen geht die Achse des Rührers R. Dieser besteht, wie schon oben beschrieben, aus einem Rädchen mit sechs schiefstehenden Flügeln, welches in einer oben und unten offenen, ganz dünnwandigen Messingröhre läuft; die Achse ist oben vierkantig, damit man eine Schnurrolle S aufstecken kann. Durch eine über das, außen am Holzkasten befindliche Kurbelrad und über drei Führungsrollen laufende dünne Schnur läßt sich R in rasche Drehung versetzen; die dadurch bewirkte lebhafte Circulation des Wassers befördert die Ausgleichung der Temperatur im Calorimeter. Das Thermometer T hat eine in $\frac{1}{10}$ Grade getheilte Skala an der noch $\frac{1}{100}$ Grade nach Schätzung abgelesen werden können. Das dünne, cylindrische Quecksilbergefäß derselben (50 bis 60 *mm* lang) nimmt fast die ganze Höhe des Calorimeters ein. Zur Aufnahme der Eisenkugel dient der in Fig 38 gezeichnete, aus starkem Messingdraht bestehende Korb K. Der um ein Charnier drehbare Deckel desselben ist mit einem rechtwinklig nach unten angesetzten Stift versehen. Senkt man den Korb mit aufgeklapptem Deckel in den Hals des Calorimeters ein, so

Fig. 38.



bleibt der Deckel am Rande des Halses hängen. Läßt man dann eine Kugel in den Hals fallen, so schlägt diese auf den Stift, schließt dadurch den Deckel und dabei fällt der Korb bis auf den Boden des Calorimeters, so daß schließlich der Deckel beinahe die Oberfläche des Wassers berührt, welche vor dem Einbringen des Korbes und der Kugel am unteren Rande des Halses sein soll. Um immer die richtige Wassermenge im Calorimeter zu haben, bedient man sich einer kleinen Pipette (Fig. 33), welche in eine Scheibe aus Metall, Holz oder Kork so eingekittet ist, daß der nach unten vorstehende Theil gerade die Länge des Calorimeterhalses hat. Man gießt zuerst so viel Wasser ein, daß dasselbe einige Millimeter hoch im Halse steht, legt dann die Scheibe der Pipette auf den Rand des Halses und saugt soviel Wasser wieder heraus, wie nöthig.

Das messingene Calorimetergefäß mit der Rührvorrichtung und dem Korbe K (aber ohne die Schnurrolle S und das Thermometer T nebst Kork) wird in noch trockenem Zustande gewogen. Das gefundene Gewicht multiplicirt mit der specifischen Wärme des Messings, 0·095 gibt den Wasserwerth des leeren Calorimeters. Der Wasserwerth des Thermometers ist nicht leicht zu ermitteln, aber so gering, daß man ihn ohne Schaden vernachlässigen kann. Nach dem Einsetzen des Thermometers mit dem Kork wird zum zweiten, nach der Füllung mit kühlem Wasser zum dritten Male gewogen. Der Unterschied des bei der zweiten und dritten Wägung gefundenen Gewichtes gibt den Wassergehalt des Calorimeters; der Wasserwerth des gefüllten Calorimeters ist die Summe dieses Wassergehaltes und des Wasserwerthes des leeren Calorimeters. Wiegt z. B. das leere Calorimeter ohne Thermometer 210 Gramm, mit Thermometer 236 Gramm, mit Wasser 1240 Gramm, so ist

der Wasserwerth des leeren Calorimeters
$= 210 \times 0{\cdot}095 = 19{\cdot}95\ g$

der Wassergehalt des Calorimeters
$= 1240 - 236 = 1004\ g$

der Wasserwerth des gefüllten Calorimeters
$= 1004 + 19{\cdot}95 = 1023{\cdot}95\ g$
oder $1{\cdot}024\ kg$.

Die anzuwendenden Kugeln sollen je 60 bis 80 Gramm wiegen. Man gibt ihnen einen Durchmesser von 28 bis 29 *mm* und 6 bis 9 *mm* weite Durchbohrungen. Zur Einführung der Kugeln in den heißen Raum dient eine aus starkem Eisendraht oder Stabeisen hergestellte Zange mit halbkugeligen Schalen, Fig. 39 oder besser ein an einem langen Stiele befestigtem Löffel mit Deckel, Fig. 40. Die Zange empfiehlt sich, wenn das, den heißen Raum umschließende Mauerwerk nicht zu dick und der Raum selbst nicht zu tief ist, so daß man ihr keine zu große Länge zu geben braucht. Bei großer Länge ist der Löffel bequemer. Er läßt sich aber natürlich nur horizontal oder schräg, aber nie senkrecht einführen.

Fig. 39.

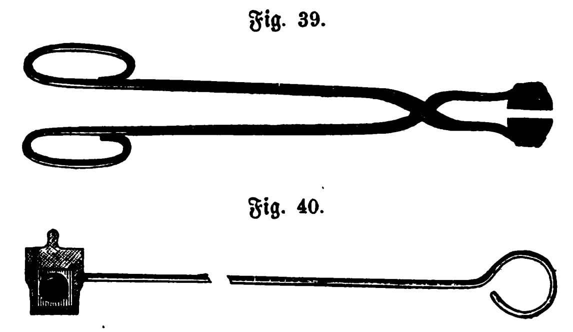


Fig. 40.

Das Gewicht der Kugel muß vor dem Gebrauche ermittelt werden. Bei der angenommenen Größe derselben genügt eine Wägung bis auf Decigramme. Hat man eine größere Zahl von Temperaturbestimmungen hinter einander zu machen, so empfiehlt sich die Benützung einer größeren Zahl von Kugeln, die sämmtlich vorweg gewogen und zur Verhütung von Verwechslungen in numerirten Fächern eines Kästchens aufbewahrt werden.

Zum Gebrauche wird das Calorimeter in der aus der Beschreibung und den Figuren ersichtlichen Weise zusammengesetzt, mit frischem Wasser gefüllt, dann wird der Drahtkorb eingehängt, unmittelbar vor dem Einbringen der Kugel wird der Rührapparat so lange in Bewegung gesetzt, bis das Thermometer fest steht, und nun die Temperatur (Anfangs-

Temperatur des Calorimeters") abgelesen. Beim Einbringen der Kugel achte man darauf mit der Zange oder dem Löffel das Thermometer und die Schnur der Rührvorrichtung nicht zu verletzen. Hat man keine ganz sichere Hand, so kann man entweder aus ein Paar Ziegelsteinen oder dergleichen eine Auflage nahe am Calorimeter schaffen, auf die man Zange oder Löffel stützt, oder besser noch über dem Calorimeter eine Art Trichter aus Blech anbringen, in den man die Kugel schüttet. Sofort nach dem Einwerfen der Kugel handhabt man die Rührvorrichtung so lange, bis das Thermometer nicht mehr steigt, worauf wieder die Temperatur („Endtemperatur des Calorimeters") abgelesen wird.

Der Unterschied der Anfangs- und Endtemperatur multiplicirt mit dem in Kilogrammen ausgedrückten Wasserwerth des gefüllten Calorimeters gibt die von der Eisenkugel an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge in Calorien. Zeigt das Thermometer des oben als Beispiel angeführten Calorimeters vor dem Einbringen der Kugel 16·45°, nach dem Einbringen 28·97°, so ist diese Wärmemenge:

$$(28{\cdot}97 - 16{\cdot}45) . 1{\cdot}024 = 12{\cdot}82 \text{ Calorien.}$$

Nun ermittelt man zunächst, welche Wärmemenge 1 *kg.* Eisen abgeben würde, wenn es sich um ebenso viele Grade abkühlt, wie die Kugel, entweder mit Hilfe der Proportion:

(Kugelgewicht) : (1 *kg*) = (Wärmeabgabe der Kugel) : x

oder bequemer mit Hilfe der Tabelle LXXIII des Anhanges. Diese enthält für alle Kugelgewichte von 50 bis 90 Gramm die Wärmemenge, welche das *kg.* Eisen abgibt, wenn die Wärmeabgabe der Kugel 1, 2, 3 .. — 9 Calorien beträgt.

Ist in obigem Beispiele das Gewicht der Kugel 70·8 Gramm so ergibt die Tabelle:

für 1 Calorie 14·12, folglich für 10 Calorien	.	141·2
„ 2 „	.	28·25
„ 8 „ 112·99, folglich für 0·8 Calorien .	.	11·299
„ 2 „ 28·25, „ „ 0·02 „ . .	.	0·2825
Summe		181·0315

Die gesuchte Wärmemenge ist also 181·03 Calorien.

Die Wärmemenge, welche 1 kg. Eisen beim Erwärmen aufnimmt, oder beim Abkühlen abgibt, ist nicht einfach der

Temperatur proportional, weil die specifische Wärme des Eisens mit der Temperatur erheblich zunimmt (siehe oben, p. 259) Es würde deshalb sehr umständlich sein, auf allgebraischem Wege aus der pro *kg*, Eisen abgegebenen Wärmemenge und der Endtemperatur der Kugel (und des Calorimeters) die Anfangstemperatur der Kugel zu ermitteln. Die Rechnung gestaltet sich aber äußerst einfach bei Benutzung der Tabelle LXXIV. Diese enthält die Wärmemengen, welche zur Erwärmung eines Kilogrammes Eisen auf verschiedene Temperaturen erforderlich sind. Man entnimmt aus der ersten Doppelspalte die Wärmemenge für die Endtemperatur der Kugel und des Calorimeters, addirt zu diesen die pro Kilogramm abgegebene Wärmemenge und sucht die dieser Summe entsprechende Temperatur T auf.

In unserem Beispiele ist die Endtemperatur des Calorimeters 28·97° C. abgerundet 29°.

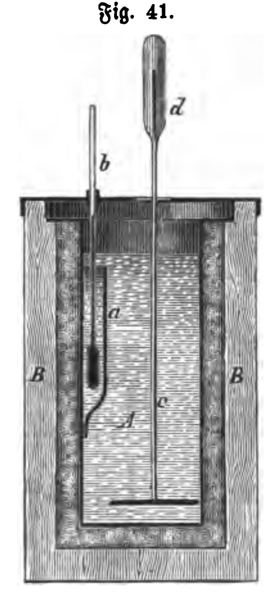
Wärmemenge für 29°	3·10	
Wärmeabgabe pro 1 *kg* Eisen. . .	181·03	
Summe	184·13	Calorien

Die nächsten Zahlen der Tabelle sind 182·97 Calorien für 1090° und 185·55 Calorien für 1100°. Die Anfangstemperatur der Kugel ist also zwischen 1090 und 1100° C. Durch Interpolation ließe sich die Temperatur noch genauer zu 1094·6° ermitteln. Diese Interpolation ist aber zwecklos, weil die wirklich erreichbare Genauigkeit der Bestimmung nur eine mäßige ist. Aus diesem Grunde sind auch die Zahlen der Tabellen LXXIII, LXXIV nicht weiter als bis auf Hundertel-Calorien angegeben und die Werthe der Tabelle LXXIV nur von 300 bis 500° von Grad zu Grad, von 500 bis 1000° von fünf zu fünf und über Tausend nur von zehn zu zehn, berechnet.

Weit einfacher in der Construction als die vorerwähnten ist das Calorimeter von Dr. Ferd. Fischer, welches in Fig. 41 abgebildet ist. Der 50 *mm* weite Cylinder A aus dünnem Kupferbleche hängt in der Holzbüchse B. Der Raum zwischen Holzbüchse und Blechgefäß ist mit langfaserigem Asbest oder Glaswolle gefüllt. Der Apparat wird durch eine dünne Messing- oder Kupferplatte geschlossen, welche eine größere Oeffnung d von 20 *mm* Durchmesser für den Rührer e und

zum Einwerfen des Metallcylinders, sowie eine kleine Oeffnung für das Thermometer t hat. Das Normalthermometer von Geißler in Bonn mit sehr kleinem Quecksilbergefäße für 0 bis 50° ist in $\frac{1}{10}$ Grade getheilt, so daß man noch $\frac{1}{100}$ Grade schätzen kann; es wird durch den Bügel a von dünnem Kupferblech vor dem Zerbrechen durch den Rührer geschützt. Der Rührer besteht aus einer runden Kupferscheibe, welche an einen starken Kupferdraht gelöthet ist. Derselbe ist oben in einen Glasstab eingeschmolzen, der als Handgriff dient. Das Kupfergefäß wiege beispielsweise 35·905 *g*, der Rührer ohne Glasstab 6·445 *g*, so ist der Wasserwerth des Calorimeters: Specifische Wärme des Kupfers × Totalgewicht = Wasserwerth. 0·094 × (35·905 + 6·445) = 3·98 *g* und mit dem Thermometer = 4 *g*; wiegt ferner das Kühlwasser 246 *g*, so ist der Wasserwerth des gefüllten Thermometers = 250 *g*.

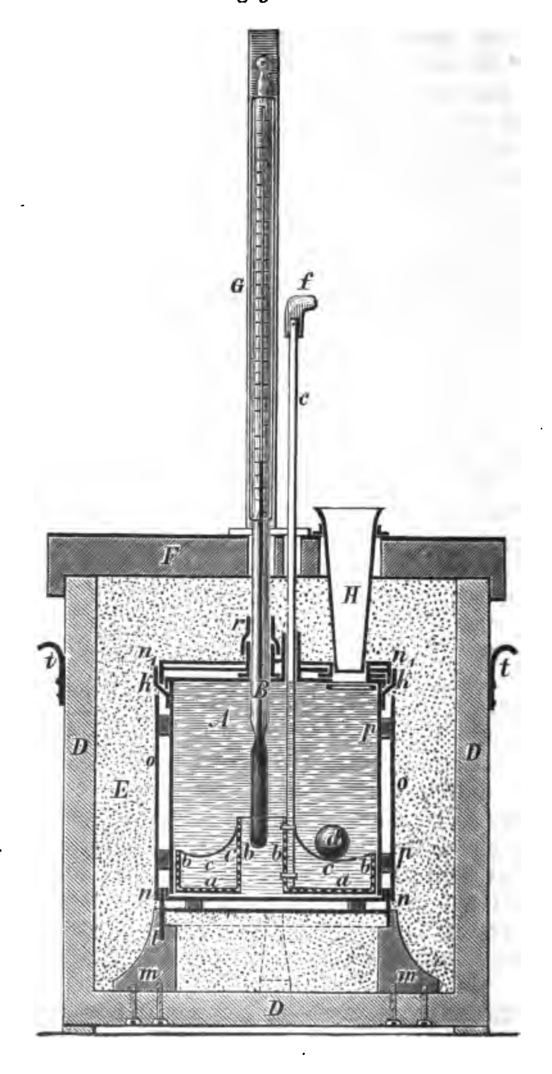
Fig. 41.



Zur Messung der Temperatur benützt man doppelt durchbohrte schmiedeiserne Cylinder von 13 *mm* Durchmesser und etwa 20 *mm* Länge, welche 20 *g* wiegen. Dieselben werden in einem, dem oben beschriebenen ähnlichen eisernen Löffel mit Deckel, der einen ½ bis 1 *m* langen eisernen Stiel mit hölzernem Handgriff besitzt, oder auch mittelst einer Zange der zu messenden Temperatur ausgesetzt, zum Calorimeter gebracht und durch die Deckelöffnung d desselben eingeworfen. Der Eisencylinder fällt auf die Platte des Rührers und nun wird durch Heben und Senken des letzteren eine gleichmäßige Erwärmung des Calorimeterwassers erzielt, so daß nach etwa einer Minute das Thermometer bereits die Endtemperatur anzeigt.

Correcturen wegen Verdampfung von Wasser oder Wärmeübertragungen durch Leitung und Strahlung, werden nicht

Fig. 42.



ausgeführt, da die Verdunstung verschwindend klein, die Isolirung des Calorimeters aber sehr vollkommen ist. Wird das Calorimeterwasser etwa 40° warm, so muß es gewechselt werden. Die Temperaturberechnung erfolgt wie früher.

Endlich wollen wir noch ein recht vollkommenes Calorimeter ähnlicher Art, von S. A. Andrée*) erwähnen, das in Fig. 42 abgebildet ist.

Bedingung der Construction dieses Apparates war, daß Messungen mit demselben um nicht mehr als 1% fehlerhaft sein durften, wenn es sich um Temperaturen von etwa 500° handelte. Die zu benutzenden Probirstücke waren von Eisen und wogen etwa 23·5 *g*. Nach der am Schlusse gegebenen Tabelle findet man, daß diese bei einer Temperatur von 500° eine Wärmemege enthalten = 23·5 × 63·90 = 1502 Calorien. — 1% davon ist 15 Calorien und diese Wärmemenge muß das Pyrometer noch deutlich angeben, d. h. die Temperaturveränderungen, welche 15 Calorien beim Pyrometer veranlassen, muß man am Thermometer desselben noch mit Sicherheit ablesen können. Ist nun letzteres in $\frac{1}{10}$ Grade getheilt, und hat jedes dieser Zehntelgrade die Länge eines Millimeters, so kann man leicht und sicher die Hälfte eines solchen Skalentheiles oder $\frac{1}{20}$ Grad ablesen, und die Wassermenge im Pyrometer mit dem Wasserwerthe desselben muß daher etwa 300 Gramm Wasser entsprechen.

Das Gefäß muß natürlich cylindrisch, aber zur Vermeidung von Wärmeverlusten durch die Gefäßwände so gewählt sein, daß das gewünschte Volum von der kleistmöglichen Außenfläche begrenzt wird. Dagegen darf man außer Acht lassen, daß Thermometer und Rührer die Oberfläche der Flüssigkeit vergrößern, über der sich außerdem ein etwa 2 *cm* hoher leerer Raum für etwaiges Aufwallen des Wassers befinden muß. Um die kleinste Oberfläche zu erreichen, ist es bekanntlich Bedingung, daß die Tiefe des Gefäßes gleich dem Bodendurchmesser sei, und wenn diese, in Centimetern ausgedrückt, mit x bezeichnet wird, so hat man für die Berechnung desselben die Gleichung:

$$\frac{\pi x^2}{4}(x-2) = 300$$

*) Jernkontorets Annaler 1884.



woraus folgt:

$$x = 8\, cm$$

Eigentlich sollte das rechte Glied dieser Gleichung um so viel kleiner sein, als der Wasserwerth des Gefäßes beträgt, aber da dieser in der Regel klein ist, und sich nicht im Voraus bestimmen läßt, kann man dessenungeachtet auf die oben erwähnte Weise rechnen, und dann die Wassermenge im Pyrometer um ein Quantum verkleinern, das dem Wasserwerthe des Apparates entspricht.

Im Uebrigen beruht die Anordnung des Pyrometers auf dem Gutdünken des Constructeurs, unter Berücksichtigung, daß das Gefäß so gut als irgend möglich geschützt und der Apparat leicht benutzbar sei. Fig. 42 gibt den in Rede stehenden Apparat. In das Gefäß A aus dünnem Messingblech wird das Thermometer so tief eingeführt, daß dessen Kopf, der von möglichst länglicher Gestalt ist, (um das Thermometer empfindlicher zu machen und es mit einer größeren Wasserschichte in Berührung zu bringen) mitten in der Wassermasse sich befindet. Diese wird mittelst des Mischers C vollständig umgerührt. Der Mischer besteht aus einem runden, mit einer großen Anzahl feiner Löcher versehenen Messingbleche a und aus zwei gleichfalls durchbohrten concentrischen Metallringen bb, von denen der innere verhindert, daß das Thermometer den Bewegungen des Mischers in den Weg tritt. Zwischen den Ringen ist ein gebogenes Metallgewebe c befestigt, auf dem das Probirstück d ruht, nachdem dasselbe in das Pyrometer gebracht wurde. Man erlangt hierdurch den Vortheil, daß das Probirstück von den Wänden und dem Boden des Gefäßes abgehalten wird, und man erreicht mit größerer Sicherheit, daß dieselbe Temperatur gleichförmig in der ganzen Masse des Apparates herrscht.

Der Rührer (Mischer), der genau in das Gefäß paßt, und die Kante b so hoch hat, daß er sich nicht festklemmen kann, wird mittelst der schwachen Stange e auf und niedergeführt, die aus Fischbein gefertigt ist, damit sie gleichzeitig haltbar, dünn und wenig wärmeleitend ist. Diese Stange ist am obern Ende mit einem Handgriff f versehen, der mittelst eines Splintes festgehalten wird.

Natürlich hat der Deckel des Gefäßes die erforderlichen Löcher für Thermometer und Rührstange sowie eine dritte Oeffnung g, durch welche das Probirstück eingebracht wird. Hierbei stößt dasselbe eine leichtbewegliche, aus dünnem Metallbleche bestehende Klappe bei Seite, die alsbald, nach Durchpassiren des Probirstückes sich durch ein Gegengewicht i von Blei wieder schließt. Um die obere Kante des Gefäßes läuft ein festgelötheter Ring k, der verhindert, daß zufällig unter dem Deckel hervorspritzendes Wasser an der Gefäßwand herabrinnt und durch Anfeuchten der Baumwolle Wärmeverluste herbeiführt. Bleibt das Wasser in der Rinne stehen, so verhindert es einen solchen Wärmeverlust und die Messung bleibt nahezu gleich zuverlässig, weil die Einwirkung dieser kleinen Wassermenge auf die Temperatur im Pyrometer ungefähr die gleiche ist, als wäre sie noch bei der übrigen Wassermasse. Das Abheben, beziehungsweise Verschieben des Gefäßes A wird durch eine an dessen Boden befestigte Metallklammer l verhindert, welche einen der vier Holzuntersätze umfaßt, die das Gefäß tragen und vor der directen Berührung mit dem Boden des Holzkastens schützen, in dessen Mitte sich das Metallgefäß befindet.

Zur Erlangung einer guten Isolirung wird das Gefäß von den erwähnten vier Untersätzen getragen und berührt es auch diese nur mit der Kante des dünnen Ringes n. Ein gleicher Ring n' befindet sich auf dem Deckel; in beide sind Pappscheiben eingelegt, die durch ein Paar Pappringe vom Boden und Deckel getrennt werden, so daß eine isolirende Luftschicht zwischen Pappe und Metall bleibt. Eine gleiche Isolirschicht wird durch die Papphülse O rund um den Apparat gebildet, die ein Paar dünne Kautschukbänder p in passender Entfernung von dem Gefäße halten, gleichzeitig aber auch eine Luftströmung in verticaler Richtung, der Gefäßwandung entlang, hindern. Beiderseits ist die Pappe mit Silberpapier überzogen, um Absorption und Ausstrahlung der Wärme auf das geringst mögliche Maß zu reduciren; man muß aber darauf achten, daß der Silberüberzug sich nicht so nahe den Kanten erstreckt, daß er irgend wo mit dem Metalle des Gefäßes in Berührung kommen kann. Die weitere Isolirung erreicht man durch Baumwolle E, die, lose gepackt, den

ganzen Raum um die Gefäßwände ausfüllt. Auf dem mit dünnem Eisenbleche belegten Holzdeckel F ist ein verticales Metallrohr G mit langsseits herabgehendem Schlitz angebracht, welches das Thermometer gegen äußere Einwirkungen schützt und es in fester, aufrechter Lage erhält; der Kautschukring r hält das Thermometer fest, so daß die Kugel desselben im Wasser in passender Lage bleibt. H ist ein konischer Trichter von Messing, durch den das Probestück niederfällt und der dessen directe Berührung mit der Baumwollverpackung verhütet, die sonst dem Angezündetwerden ausgesetzt wäre. Der Holzkasten endlich ist mit zwei Handgriffen d von Blech und zwei Haken versehen, die den Deckel festhalten.

Bestimmung des Wasserwerthes des Apparates.

Zur Bestimmung des Wasserwerthes des Apparates haben sich zwei Methoden als besonders geeignet erwiesen. Entweder man erwärmt das Probestück d in Dampf kochenden Wassers und beobachtet die Temperaturerhöhung, die durch dasselbe im Apparate hervorgebracht wird, oder man bringt in denselben Eisstückchen von 1—2 Gramm Gewicht ein und stellt die dadurch veranlaßte Temperaturverminderung fest. Recht vortheilhaft kann man beide Methoden untmittelbar hintereinander anwenden, weil man bei der ersteren etwas Wärme verliert und dadurch den Wasserwerth zu hoch erhält, bei letzterer aber gerade das Entgegengesetzte eintritt. Bei der Constanten-Bestimmung muß der Apparat natürlich möglichst wenig Wasser enthalten, nicht mehr als erforderlich, daß die bis zum Boden des Gefäßes niedergesenkte Kugel des Thermometers sich ganz und gar unter Wasser befindet.

Beispiel:

Die Wassermenge des Pyrometers betrage . . . . 175·1 *g*
die Temperatur des Pyrometers vor dem Versuche sei 19·10°
die Schlußtemperatur desselben . . . . 19·96°
der Wasserwerth x

Ein Probirstück von Eisen im Gewichte von 21·85 *g* erhitzt in Dampf von Wasser, welches bei einem Barometerstande von 765 *mm* kocht, und somit eine Temperatur von 99·8° hat, gibt bei der Abkühlung auf 19·96° nach der am Schlusse mitgetheilten Tabelle eine Wärmemenge von:

$$\left[\left(10\cdot94 - \frac{100-99\cdot8}{100-50}\left\{10\cdot94-5\cdot38\right\}\right) - \right.$$
$$\left. - \left(2\cdot13 - \frac{20-19\cdot96}{20-15}\left\{2\cdot13-1\cdot6\right\}\right)\right] 21\cdot85 =$$

$= 8\cdot79 \times 21\cdot85 = 192\cdot06$ Gramm-Wärme-Einheiten. — Das ...yrometer hat aufgenommen $(175\cdot1 + x)\ (19\cdot96 - 19\cdot10)$ ...alorien und erhält man hieraus

$$(175\cdot1 + x)\ 0\cdot86 = 192\cdot06$$

oder

$$x = 48\cdot2 \text{ Gramm.}$$

Während man das Eisenstück im Apparate liegen läßt, ...rd folgende Bestimmung gemacht:

Auf der Wage sind Eisstücke von 0° gewogen mit ...8·66 *g*; nachdem davon ein Stück genommen und schnell ... den Apparat eingebracht worden, wog das zurückgebliebene ...s 407·23 *g*, es wurde mithin in das Pyrometer eingeführt ...13 *g* Eis.

Die Wärmemenge, welche das Pyrometer abgab, war ...glich:

$$(175\cdot1 + x)(19\cdot68 - 19\cdot05) +$$
$$+ \left[\left\{2\cdot13 - \frac{20-19\cdot68}{20-15}(2\cdot13-1\cdot60)\right\} - \right.$$
$$\left. - \left\{2\cdot13 - \frac{20-19\cdot05}{20-15}(2\cdot13-1\cdot60)\right\}\right].21\cdot85 =$$
$$= (175\cdot1 + x)\ 0\cdot63 + 1\cdot46$$

Das Eis hat zum Schmelzen und Wärmen aufgenommen:

$$1\cdot43 \times 79\cdot25 + 1\cdot43 \times 19\cdot05 = 140\cdot57 \text{ Calorien}$$

also

$$(175\cdot1 + x) \times 0\cdot63 + 1\cdot46 = 140\cdot57$$

woraus

$$x = 45\cdot7 \text{ Gramm.}$$

Die Mittelzahl dieser zwei Werthe von x ist sicherlich eine ...timmung von genügender Genauigkeit für diesen Apparat; ...n hat damit definitiv:

$$2x = \frac{48\cdot2 + 45\cdot7}{} = 47\cdot0 \text{ Gramm.}$$

Die Ausführung der Versuche.

Nachdem das bestimmte Quantum reines Wasser in das Pyrometer gebracht ist, stellt man dasselbe am besten auf den Platz, wo es gebraucht werden soll, und beobachtet, wenn die Temperatur in demselben genügend constant bleibt, wozu gewöhnlich etwa vier Stunden erforderlich sind, wenn nicht die Temperatur des Wassers und des Apparates erheblich von der der umgebenden Luft abweicht. Kurz bevor das Probirstück aus der Wärmequelle herausgenommen wird, hebt und senkt man den Rührer einigemale und liest die Temperatur genau ab; der Trichter H wird eingesetzt, wobei man genau zusieht, daß keine Baumwolle im Trichter befindlich ist, wodurch sehr leicht eine Entzündung verursacht werden kann. Nachdem das Probirstück d eingefügt, wird unter langsamem Umrühren der höchste Wärmegrad constatirt, den das Thermometer allmälig angibt.

Fig. 43.

V

Die Erhitzung und das Herausnehmen des Probirstückes erfolgt mittelst eines Instrumentes, Fig. 43, welches aus einer schmiedeisernen Hülse V besteht, in welche das Probirstück d gelegt und von dem lose aufgesetzten Deckel geschützt wird; an einem Ende ist die Hülse an einer schwachen Eisenstange mit hölzernem Handgriff befestigt. War die Hülse mit dem Probirstück der Hitze genügend lange ausgesetzt, die gemessen werden soll, so wird sie herausgenommen, der Deckel wird schnell mit der Zange entfernt und das Probirstück in das Pyrometer eingebracht. Beachtet muß werden, daß man die Hülse nicht länger als nöthig ist, vor der Trichtermündung hält, daß, wenn das Probirstück eingeführt, der Trichter gegen den mit Baumwolle umwickelten Holzpfropf K Fig. 44. ausgewechselt wird, und daß man den Rührer so stark auf und nieder bewegt, daß er die ganze Wassermenge durchschneidet.

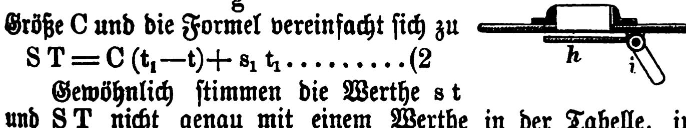
Die Berechnung der Temperatur des Probirstückes erfolgt nach der Formel:

$$S\,T = \frac{W + w}{g}(t_1 - t) + s_1\,t_1 \,\ldots\ldots\ldots (1$$

in der die Buchstaben folgende Bedeutung haben:

W = Wassermenge (Gramm) im Pyrometer
w = Wasserwerth („) des Pyrometers
g = Gewicht des Probirstückes, Gramm
t_1 = Schlußtemperatur im Pyrometer
t = Anfangstemperatur „ „
$s_1\,t_1$ = der der Temperatur t_1 entsprechende Tabellenwerth von $s_1\,t_1$;
T = die gesuchte Temperatur, die man aus der Tabelle erhält, wenn der Werth $S\,T$ berechnet und die entsprechende Zahl für $S_1\,t$ in der Tabelle aufgesucht wird.
S = specifische Wärme des Probirstückes zwischen 0° und t°.
S_1 = specifische Wärme des Probirstückes zwischen 0° und t_1°. —

Fig. 44.



Wenn man jederzeit die gleichen Probirstücke und gleich große Wassermengen verwendet, so ist $\frac{W + w}{g}$ eine constante Größe C und die Formel vereinfacht sich zu

$$S\,T = C\,(t_1 - t) + s_1\,t_1 \,\ldots\ldots\ldots (2$$

Gewöhnlich stimmen die Werthe s t und S T nicht genau mit einem Werthe in der Tabelle, in diesem Falle kann man denselben durch Interpolation, durch einfache Proportion bestimmen.

Ist beispielsweise: $t_1 = 27{\cdot}17$, so ist

$$s_1\,t_1 = 2{\cdot}67 + \frac{27{\cdot}17 - 25}{50 - 25}(5{\cdot}38 - 2{\cdot}67) =$$
$$= 2{\cdot}67 + 0{\cdot}24 = 2{\cdot}91$$

und wenn ist: $S\,T = 132{\cdot}96$, so ist

$$T = 900 - \frac{137{\cdot}95 - 132{\cdot}96}{137{\cdot}95 - 116{\cdot}99}(900 - 800) = 900 - 24 = 876$$

Wünscht man genauere Werthe für die Temperatur T zu erhalten, so muß man beim Messen die Zeit beobachten, welche verfließt zwischen der Einführung des Probestückes und dem Ablesen der höchsten Temperatur, und später, wenn das Thermometer fällt, nach gleich langer Zeit nochmals eine Temperaturablesung vornehmen. Dadurch erhält man einen Näherungswerth des Wärmeverlustes (Temperaturverlust) während der Zeit, in der die Temperatursteigerung vor sich ging, und dadurch, daß man diesen zum beobachteten Temperaturmaximum addirt, erhält man einen genaueren Werth der Schlußtemperatur, welcher Werth dann t_1 in der Formel (1) und (2) entspricht.

Temperatur °C.	Platin*) s_t t	Eisen**) s_t t
5	0·16	0·53
10	0·32	1·06
15	0·48	1·60
20	0·64	2·13
25	0·80	2·67
50	1·60	5·38
100	3·23	10·94
150	4·89	16·70
200	6·58	22·67
250	8·30	28·87
300	10·05	35·31
350	11·83	42·02
400	13·64	49·01
450	15·48	56·30
500	17·35	63·90
600	21·18	80·10
700	25·13	97·75
800	29·20	116·99
900	33·39	137·95
1000	37·70	160·76
1100	42·13	—
1200	46·68	—
1300	51·35	—
1400	56·14	—
1500	61·05	—
1600	66·08	—
1700	71·23	—

*) Violle, Comptes Rendus 1879. T. 89, p. 702.
**) Weinhold, Pogg. Ann. 1873. Bd 149, p. 216.

Als eines der vorzüglichsten Instrumente zur Messung hoher Temperaturen müssen wir endlich noch das elektrische Widerstandspyrometer von William Siemens (Proceeding of the Royal Society, 1871, Nr. 128; Dinglers polyt. Jour. 1871, Bd. 201, p. 41, Bd. 209, p. 419; 1875, Bd. 217, p. 291; 1876, Bd 221, p. 468; Post, chemisch technische Analyse, 2. Auflage, Bd. 1 p. 76) erwähnen, doch müssen wir uns hier darauf beschränken auf die citirten Literaturnachweise zu verweisen, da einerseits der Preis des Instrumentes ein sehr hoher (der vollständige Apparat von Siemens Brothers, London, zu beziehen, kostet 450, mit Platinschutzrohr 550 Mark), andererseits aber die Behandlung desselben eine etwas complicirtere ist, so daß es wohl nur selten für unsere Zwecke in Anwendung kommen wird.

IV. Capitel.

Messung der Wärmemengen, welche in der Feuerungsanlage nutzbar gemacht wurden.

Je nach der Art der Feuerungsanlage, respective je nach dem verschiedenen Zwecke, welchem diese dienen soll, müssen diese Messungen offenbar sehr verschieden ausfallen. Immer läuft die Aufgabe darauf hinaus, die Menge der Wärme aufnehmenden Stoffe zu bestimmen und jene Wärmemenge zu ermitteln, welche von der Gewichts- (oder Volums-) Einheit dieser Stoffe aufgenommen wurde.

Ersteres wird an einzelnen Beispielen im IV. Theile des Buches gezeigt werden, und von letzterem wollen wir nur erwähnen, daß — je nach der Natur der fraglichen Körper — hiezu entweder ein Calorimeter — oder bei gasförmigen und in einigen Fällen bei flüssigen Körpern — ein Thermo- oder Pyrometer in Anwendung kommt.

Ein sehr zweckmäßiges Calorimeter für die Lösung der genannten Aufgaben ist das von Andrée*) zur Bestimmung der Schmelzwärme von Schlacken construirte, dessen Beschreibung wir in Folgendem geben.

*) Jernkontorets Annaler 1886, p. 5

Um die Größe des zu construirenden Calorimeters zu ermitteln lagen nur wenige Angaben über den Wärme-Inhalt geschmolzener Schlacken vor, doch konnte man nach den Versuchen von Rinman und von Gruner annehmen, daß die Gewichtseinheit derselben bei ihrer Abkühlung auf mittlere Temperaturen etwa 440 Calorien abgeben werde. Da überdies zu den fraglichen Bestimmungen etwa 100 Gramm der Schlacken in Anwendung kommen sollen, so findet man, wenn man annimmt, daß durch die eingetragene Schlacke die Temperatur des Calorimeters durchschnittlich um 5·5 ° C. erhöht werden soll, den nöthigen Wasserinhalt des Calorimeters zu

$$\frac{440 \times 100}{5 \cdot 5} = 8000 \text{ Gramm.}$$

Der Rauminhalt des Calorimeters muß jedoch umso viel größer genommen werden, daß sowohl für Thermometer und Rührer, als auch für die Bewegung des Calorimeterwassers beim Rühren Platz geschaffen wird. Nimmt man daher an, daß der Wasserspiegel 5·5 *mm* unter dem Rande des Calorimetergefäßes stehen soll, so hat man zur Berechnung der Calorimeter-Dimensionen die Gleichung:

$$\frac{\pi x^2}{4} (x - 55) = 8000$$

woraus sich der Durchmesser des Calorimeterbodens ergibt mit

$$x = 237 \text{ mm}$$

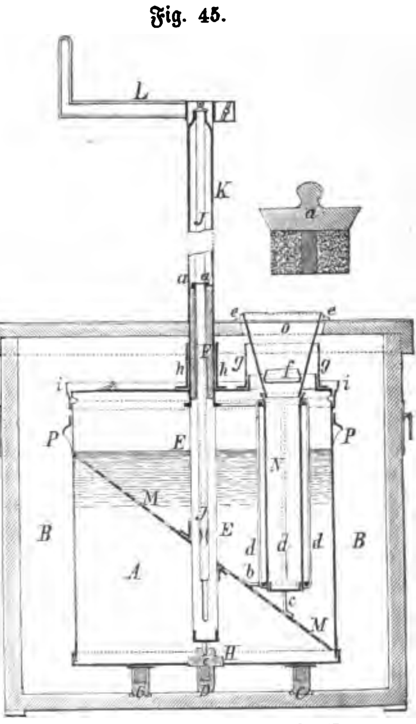
Diese Gleichung nimmt darauf Rücksicht, daß ein Cylinder von gegebenem Inhalte dann die kleinste Oberfläche hat, wenn Durchmesser und Höhe des Cylinders gleich sind, was wegen der Wärmeübertragung durch Leitung und Strahlung von Wichtigkeit ist.

Dieser, nun in seinen Größen-Dimensionen fixirte Metallcylinder A in Fig. 45 wird nun zum Zwecke möglichster Wärme-Isolation in den viereckigen Holzkasten B eingesetzt, wobei er auf drei hölzernen Füßen C steht, die ihrerseits in Vertiefungen des Holzkastens B eingesenkt sind, wodurch die Stellung des Calorimetergefäßes in dem Holzkasten fixirt ist. Um eine Verbiegung der Bodenplatte des Calorimetergefäßes

owie Schwankungen desselben beim Umrühren zu vermeiden, ſt unter der Bodenmitte noch ein vierter Fuß d angeordnet.

Das metallene Calorimetergefäß A ist ringsum mit Baumwolle, Watte oder Werg umgeben, das vorher wohl ;etrocknet wurde, und mit dem auch alle Zwischenräume zwischen iesem Gefäße und dem Holzkasten ausgefüllt werden.

Fig. 45.



In der Mitte des Calorimeters ist eine, nittelst des Zapfens G n dem Lager H ruhende johle Metallaxe E an= jeordnet, die in der Ge= jend des oberen Calori= neterrandes zur Ver= ninderung der metalli= chen Leitung abgeschnit= en ist. An dieser Stelle teckt in derselben der johle Holzcylinder F. Die Metallachse besitzt ier Längenschlitze, die usammen den halben Imfang derselben aus= nachen, und durch wel= he das Calorimeter= vasser zum Innern der Achse und dem darin efindlichen Thermome= er freien Zutritt hat. Die Kugel dieses Ther= nometers liegt in der Mitte der Wassermasse, ınd seine Skala reicht bis in die obere auf die Holzhülse F aufge= etzte ebenfalls hohle metallene Verlängerung der Achse, die gleich= alls in der Art durchbrochen ist, daß die Ablesung des Ther= nometers erfolgen kann. Das Thermometer wird mittelst des ibergeschobenen Kautschukringes aa in der passenden Stellung estgehalten. Der Rührer MM besteht aus einer ebenen, ellip= ischen, durchbrochenen Metallplatte und ist auf der Achse fest=

gelöthet. Die Umdrehung des Rührers erfolgt mittelst der Kurbel L.

Durch die Umdrehung des Rührers wird das Wasser sowohl in verticaler als in horizontaler Richtung in Bewegung gesetzt, und hiedurch eine vollständige Mischung desselben bewirkt, so daß das Thermometer stets dieselbe Temperatur angibt, gleichgiltig ob es mehr oder weniger tief in das Calorimeterwasser eingesenkt ist. Diese Anordnung hat gleichzeitig den Vortheil, daß die Achse an keiner Stelle einem Drucke ausgesetzt ist, indem sich die Drücke auf beiden Hälften der Rührerplatte gegenseitig aufheben.

An den Rührer sind noch die zwei Arme bb befestigt, welche die wasserdichte Kupferhülse N in verticaler Lage festhalten. Sie dient zur Aufnahme der geschmolzenen Massen und ist, um sie gegen Bersten beim Erhitzen zu schützen, der Länge nach gefalzt und gut mit Zinn gelöthet; auch besitzt sie einen mit schwer schmelzbarem Schlaglothe befestigten Boden, der durch eine lose aufliegende Eisenblechscheibe gegen das Durchbohren geschützt ist, indem die zuerst kommenden und gewöhnlich auch heißesten Theile der geschmolzenen Masse auf diese Platte fallen. Die Hülse ist aus einem entsprechend dicken Bleche gemacht, so daß sie ihr eigenes Gewicht unter Wasser hält, wo sie auf dem Träger c aufruht. Ueberdies besitzt sie eine schwach konische Gestalt, um den darin entstandenen Schlackenklumpen leichter entfernen zu können. Die vier Messingdrähte dd, welche die beiden Ringe bb verbinden, dienen der Hülse als Führung, um zu verhindern, daß sie beim Einführen außerhalb des unteren Ringes zu liegen kommt.

Die geschmolzenen Massen werden durch den Eisenblechtrichter O eingegossen, welcher auf dem Reifen e aufsitzt, der an der Eisenplatte angebracht ist, durch welche der Holzdeckel des Calorimeters gegen die Einwirkungen der Hitze der Tiegel geschützt ist. Dadurch daß der Trichter in die Hülse N hinein reicht, wird die gegenseitige Lage beider fixirt und verhindert, daß die geschmolzene Masse an der Außenwand der Rinne, direct in das Calorimeterwasser gelangen kann. In dem Trichter befindet sich noch der kleine Ring f, welcher verhindert, daß Schlackentheilchen, die sich an der Trichterwand bereits abgekühlt haben, in das Calorimeter gelangen können.

Die beiden Ringe gg und hh aus Pappendeckel verhindern die Baumwollpackung mit dem Trichter O sowie mit der Drehungsachse des Rührers in Berührnng zu kommen. Der festgelöthete Ring ii ist mit einer dichteren Baumwollpackung gefüllt, welche verhindern soll, daß die kleinen Wassermengen, die bei zu heftigem Umrühren durch den Deckel des Calorimetergefäßes dringen könnten, die an der Außenseite desselben liegende Baumwollpackung befeuchten und so Wärmeverluste bewirken könnten.

Zur Erleichterung der Handhabung sind am Calorimetergefäße die beiden Blech-Handhaben PP und am Holzkasten derselben zwei Tragringe angebracht. Der Holzdeckel ist in der Richtung des in Fig. 45 abgebildeten Schnittes in zwei Theile getheilt, und diese werden zusammengehalten durch zwei Riegel, während der Blechüberzug der einen Deckelhälfte etwas über den der zweiten Hälfte reicht, so daß die Fuge zwischen beiden hierdurch gedeckt ist. Dies ist deshalb von Wichtigkeit, weil sonst durch Baumwollpackung und Fuge eine Luftcirculation stattfinden und die Bestimmung unzuverlässig machen könnte.

Den Wasserwerth des Calorimeters bestimmt man entweder durch Berechnung (Product des Materialgewichtes und einer specifischen Wärme) oder durch Eingießen gewogener Wassermengen von bestimmter Temperatur, welche — in Folge der Einwirkung der Calorimetermasse — eine Veränderung erleidet. Bei einem solchen Calorimeter erhielt man den Wasserwerth durch Berechnung = 345 Gramm, während die experimentelle Bestimmung denselben zu 390 Gramm ergab. Der Unterschied rührt theils daher, daß die zur Berechnung angewendeten Mittelwerthe der specifischen Wärme der Metalle nicht genau für die angewendeten Legirungen passen, theils aber auch daher, daß bei dem auf experimentellem Wege gefundenen Wasserwerthe die Wärmeabsorption der dem Calorimetergefäße zunächstliegenden Baumwoll- und Luftschichten ebenfalls zur Beobachtung gelangt. Der Unterschied von 45 Gramm ist übrigens so unbedeutend (0·05%) im Vergleiche zu dem Wasserwerthe des gefüllten Calorimeters (8390 Gramm), daß eine genauere Bestimmung unnöthig erscheint und man den experimentell gefundenen Werth (390) als richtig annehmen kann.

Kurz vor dem Eintragen der geschmolzenen Massen in das Calorimeter wird das Wasser desselben fleißig umgerührt und unmittelbar vor dem Versuche die Temperatur abgelesen. Sobald die flüssige Masse eingegossen ist, entfernt man schleunig den Trichter, setzt den Rührer in Bewegung und verschließt die Eingußöffnung mit dem mit Baumwolle umwickelten Holzpfropf Fig. 25 a.

Inzwischen steigt die Temperatur des Calorimeters so rasch, daß 90% der gesammten Temperatursteigerung schon in 5 Minuten nach dem Eingießen sich vollziehen; das Temperaturmaximum erreicht man jedoch nicht früher als 15 bis 20 Minuten später, was auf dem geringen Wärmeleitungsvermögen der Schlacke beruht. Während der ersten 20 Minuten genügt es alle fünf Minuten eine Temperaturablesung vorzunehmen; später muß das Thermometer jedoch weit öfter abgelesen werden, um die Zeit genau zu ermitteln, wo das Thermometer zu sinken beginnt. Während dieser ganzen Zeit muß der Rührer in Rotation erhalten werden.

Sobald die Temperatur des Calorimeters zu sinken beginnt entfernt man die Hülse und läßt den Calorimeter durch eben so lange Zeit abkühlen, als vom Beginn des Versuches bis zu dem Momente verfloß, wo die Calorimetertemperatur zu sinken begann. Die Anzahl der Grade, um welche das Thermometer hierbei fällt, steht im Zusammenhange mit dem Temperaturüberschusse des Calorimeters gegenüber der Umgebung. Um diese Anzahl der Grade vermehrt man nun die Maximalablesung und erhält so die wirkliche Schlußtemperatur (siehe das unten folgende Beispiel). Augenscheinlich verliert nämlich das Calorimeter in der Zeit, während welcher die Temperatursteigerung vor sich geht, durch Abkühlung eine gewisse Wärmemenge. Die Temperatur bleibt daher nur kurze Zeit constant, indem sich Wärmeverlust und Wärmezufuhr (durch die sich abkühlende Schlacke) das Gleichgewicht halten; und schließlich beginnt die Temperatur zu fallen, indem die Wassermasse im Calorimeter mehr Wärme verliert, als sie von der Schlacke zugeführt erhält, da ja die Wärmemengen, welche letztere abgibt, fortwährend kleiner werden.

Die Wärmeabgabe des Calorimeters während der Zeit, als die Temperatursteigerung vor sich geht, ist offenbar varia-

vel, da ja auch der Temperaturüberschuß gegenüber der Umgebung nicht constant ist, sondern beständig wächst, und es ist klar, daß die Wärmeverluste während dieser Zeit etwas kleiner sein werden, als die Correction, welche man durch Beobachtung der Temperaturabnahme in der Nähe des Maximums erhält. Die Anbringung dieser Correction bewirkt also, daß man für den Wärme-Inhalt des zu untersuchenden Körpers etwas zu große Werthe erhält. Dieser Fehler kann jedoch nicht sehr groß sein, da sich die Temperaturen innerhalb 5 Minuten nach Beendigung des Versuches noch in der Nähe des Maximums befinden werden.

Auf der anderen Seite ist ersichtlich, daß in dem Augenblicke als die Temperatur im Calorimeter zu fallen beginnt, die auf ihren Wärme-Inhalt zu prüfende Substanz noch nicht alle Wärme an das Calorimeter abgegeben hat, wenn auch die weiterhin abgegebenen Wärmemengen kleiner sind, als die in derselben Zeit vom Calorimeter verlorenen. In Folge dieses Umstandes müssen also die gemessenen Wärme-Inhalte durchaus zu klein ausfallen.

Diese beiden Fehlerquellen sind jedoch so unbedeutend, daß jeder derselben für sich vernachlässigt werden kann; dies kann also noch viel mehr geschehen, da beide in entgegengesetztem Sinne wirken, so daß der thatsächliche Fehler nur der Differenz beider entspricht.

Zur genaueren Berechnung der Correctur wurden bekanntlich von Pfaundler*) und Pape**) 2c. Formeln angegeben; allein für unseren Fall, wo die untersuchten Körper ziemlich gute Wärmeleiter sind, ferner auch bei der Unsicherheit der Bestimmung des Zeitpunktes, wo die Schlacken ihren Agreggatzustand ändern, welche Ursachen von weit größeren Fehlern sind, als die in Rede stehenden, kann man von derartigen Berechnungen absehen.

Das Thermometer besitzt eine ganz genügende Genauigkeit, indem es in $^1/_{10}$ Grade getheilt ist, von denen jeder 1 *mm* Länge besitzt, so daß noch 0·02° C. abgelesen werden können, woraus folgt, daß der Beobachtungsfehler bei einer Temperatursteigerung um 5° C. 0·4% nicht übersteigen kann.

*) Pogg, Ann. Bd. 129, p. 102.
**) Pogg, Ann. Bd. 120, p. 337.

Zur Vervollständigung des bereits Mitgetheilten, möge ein Beispiel dienen:

13. Mai 1884. — Versuch Nr. XCI. — Hochofenschlacke Puddelroheisen von Bangbro, Nr. 1.

Zeit		Temperatur
6 *h* 21 *m*	Vor dem Einführen der Schlacke . . .	16·95°
6 *h* 26 *m*	. . . .	21·06°
6 *h* 31 *m*	. . . .	21·54°
6 *h* 36 *m*	. . . .	21·60°
6 *h* 41 *m*	. . . .	21·60°
6 *h* 44 *m*	. . . .	21·60°
6 *h* 47 *m*	. . . .	21·60°

(26 Minuten: 6 *h* 21 *m* – 6 *h* 47 *m*)

Jetzt zeigte sich eine Tendenz zum Fallen des Thermometers, worauf die Schlacke herausgenommen wurde.

Nach weiteren 26 Minuten hatte sich das Calorimeter so weit abgekühlt, daß die Ablesung des Thermometers um

7 *h* 13 *m* . . . . 21·54° C.

ergab. Der Temperaturverlust beträgt also 21·60° — 21·54° = 0·06° und der corrigirte Werth der Endtemperatur 21·60° + 0·06° = 21·66°. Die Temperatur des Calorimeters unmittelbar vor dem Einführen der Schlacke betrug 16·95°; somit beläuft sich die Temperatursteigerung auf 21·66° — 16·95° = = 4·71° C. Der Wasserinhalt des Calorimeters betrug 8000 Gramm und der Wasserwerth desselben 390 Gramm. Daher berechnet sich die von der Schlacke abgegebene Wärme zu 8·390 × 4·71 = 39·517 Calorien, und — weil das Schlackengewicht 108·94 Gramm betrug — die Wärmeabgabe pro Gramm zu 362·7 Calorien. Um nun die Wärmeabgabe der Schlacke bei 0° Temperatur zu erhalten, so haben wir zu dieser Zahl noch 21·66 × 0·16 *) = 3·5 Calorien hinzuzufügen, so, daß der gesammte Wärmeverlust 366·2 Calorien beträgt.

Die schließlich im Tiegel zurückbleibende erstarrte Schlackenmasse hatte ein Gewicht von 107·35 Gramm, war also nahezu die Hälfte der ganzen Schlackenmasse, so daß offenbar die Temperatur der in das Calorimeter eingeführten Schlacke nur

*) Der Werth der specifischen Wärme der Schlacken (0·16) ist natürlich nicht für alle Schlacken ganz gleich; doch sind die Schwankungen desselben so unbedeutend, daß sie keinen Einfluß auf das Resultat ausüben.

wenig von deren wirklicher Schmelz- oder Erstarrungstemperatur abgewichen sein kann.

Von entschiedener Wichtigkeit ist es zu vermeiden, daß die Schlacken in directe Berührung mit dem Wasserinhalte des Calorimeters kommen. Hierauf scheinen weder Rinman noch Gruner bei ihren Versuchen entsprechende Rücksicht genommen zu haben. Welchen Einfluß die directe Berührung der Schlacke mit dem Wasser ausübt, zeigt der Umstand, daß in einigen Fällen, wo die zur Aufnahme der Schlacke bestimmte Hülse chadhaft war, und Wasser zur glühenden Schlackenmasse einrang, die Wärmeabgabe um 50 bis 68 Calorien kleiner war als er bei derselben Schlacke sonst gefundene Werth. Ob diese Wärme llein zur Vergasung verbraucht wird, oder ob ein Theil derelben auch zur Zersetzung des Wassers aufgewendet wird, ann für unsere Zwecke ziemlich gleichgiltig sein, allein es geht ieraus die Nothwendigkeit hervor, die directe Berührung wischen Schlacke und Wasser zu verhindern wenn man einen olchen Grad von Genauigkeit erlangen will, daß die erhaltenen Ziffern für praktische wie für theoretische Zwecke einen wirkichen Werth haben.

Obwohl sich die vorstehenden Bemerkungen hauptsächlich uf die Bestimmung der totalen Schmelzwärme von Schlacken eziehen, haben wir dieselben doch mitgetheilt, weil gerade iese Bestimmungen zu den schwierigsten gehören, und die erwähnten Bemerkungen gewiß für jeden, der calorimetrische Messungen zu machen hat, von Interesse sind.

Zum Schlusse dieses Capitels möge noch erwähnt werden, aß zur Bestimmung der bei Dampfkesseln nutzbar gemachten Wärme die verdampfte Wassermenge aus der Menge des nachuspeisenden Wassers, die Siedetemperatur aber aus dem Dampfrucke abgeleitet wird.

Um die Menge des mit dem Dampf übergerissenen Wassers u bestimmen (dieselbe muß von der aus dem Kessel verschwunenen Wassermenge in Abzug gebracht werden, um die wahre Menge des verdampften Wassers zu erfahren) muß eine Detillationsprobe ausgeführt werden. Man condensirt eine betimmte Zeit hindurch (etwa 50—60 Minuten lang) den geammten vom Dampfkessel gelieferten Dampf, mißt oder wiegt as erhaltene Wasser und bestimmt die Menge des Verdam-



pfungsrückstandes desselben. Ein Vergleich mit dem Verdampfungsrückstande des Kesselwassers selbst gestattet leicht die Mengen des übergerissenen Wassers zu berechnen.

Capitel V.

Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft und sonstige Beobachtungen.

Zur Bestimmuug des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft dienen am besten das Psychrometer von August oder das Bifilarhygrometer von Klinkerfueß-Lambrecht.

Ersteres besteht aus zwei auf demselben Gestelle aufmontirten, völlig gleichen Thermometern. Die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, das in ein Gefäß mit Wasser taucht, während die Kugel des zweiten Thermometers ganz frei ist. Das in dem Leinwandläppchen aufgesaugte Wasser verdunstet nun um so rascher, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Um diese Verdunstung zu bewirken, ist aber eine gewisse Wärmemenge nothwendig, die dem Thermometer entzogen wird, so daß also das umwickelte Thermometer stets einen niedrigeren Stand haben wird als das freie. Nur wenn die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist, also auch keine Verdunstung stattfindet, geben beide Thermometer dieselbe Temperatur an. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, $t - t'$, welche man psychrometrische Differenz nennt, kann man zunächst die Spannkraft f des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes ermitteln, nach der Gleichung

$$f = S - K\,(t - t')\,B$$

worin

f = Spannkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes,
S = Maximalspannkraft des dem kälteren Thermometer entsprechenden Wasserdampfgehaltes der Luft
$t - t'$ = psychrometrische Differenz,
B = Barometerstand ist.

K ist eine Constante, die zwischen 0·00074 und 0·0013 schwankt, die eigentlich für jede Localität eigens bestimmt

verden sollte, die man aber gewöhnlich im Mittel =
)·00095 setzt.

Am besten bedient man sich zur Berechnung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft mittelst des Psychrometers der Tabelle
LXXV des Anhanges. In derselben ist das Gewicht des in
inem Kubikmeter Luft enthaltenen Wasserdampfes berechnet
iach der Formel:

$$\pi = \upsilon . \delta . \omega \frac{f}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}$$

vorin
= Luftvolum,
= Dichte des Wasserdampfes,
= Gewicht eines Kubikmeters Luft bei 0° C. und 760 *mm* Druck,
= Spannkraft des Wasserdampfes.

Die Anwendung der Tabelle zeigt folgendes Beispiel:

Stand des trockenen Thermometers = 15°
„ „ feuchten „ = 12°
Differenz = 3°

*m*³ Luft enthält 9 Gramm Wasserdampf.

Das Klinkerfueß-Lambrecht'sche Hygrometer gibt
en relativen Feuchtigkeitsgehalt so wie die Temperatur des
Thaupunktes, beides ohne Rechnung oder Tabellen.

Das Instrument besteht aus drei Haupttheilen, und zwar:

1. aus dem eigentlichen Feuchtigkeitsmesser, welcher durch
en Zeiger die relative Feuchtigkeit der Luft auf einer Scala
irect in Procenten angibt;

2. dem Thermometer, welches an den vollständigeren Instrumenten gleich befestigt ist;

3. der Reductionsscheibe, bestehend aus zwei auf einanerliegenden Scheiben von verschiedener Größe mit Eintheilung
nd Zahlen versehen, von denen die untere, größere, die Prontscala benannt ist, und von 2% bis 100% läuft.

Die obere kleinere Scheibe mit darauf gedruckter kurzer
nleitung zum Gebrauche ist die Temperaturscala, auf welcher
ich Anweisung die Thaupunkts- oder Sättigungstemperatur
efunden wird.

Die Theile laufen, den möglicherweise sich ergebenden
uft- und Thaupunktstemperaturen entsprechend, von — 16 bis

40° R. (doch sind jetzt auch solche nach Celsius mit französischer sowie nach Fahrenheit mit englischer Anweisung vorräthig).

Beide Scheiben sind so aufeinander befestigt, daß sich die obere durch Anfassen des Knopfes auf der unteren drehen läßt, um so zunächst die jeder Thaupunktablesung vorangehende Lufttemperatureinstellung machen zu können.

Bei der Reductionsscheibe unter Glas wird der Zeiger zum Markiren der Temperatur von 8 Uhr Morgens (für meteorologische Zwecke) vermittelst eines kleinen Schräubchens gelöst, alsdann auf die betreffende Zahl gestellt und wieder festgeschraubt, wo er bis zum anderen Morgen verharrt, also bei der jeweiligen Thaupunktsbestimmung des Tages über nicht wieder gelöst wird.

Bei den einfachen und offenen Reductionsscheiben dient die geänderte Messingscheibe als Schraubenmutter zum Lösen und Befestigen des Zeigers, gleichzeitig als Angriff behufs Drehung der Temperaturscala.

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes in Grammen per m^3 Luft kann nun auf verschiedene Weise erfolgen.

1. Man liest die Lufttemperatnr ab (die man, weil in Graden Réaumur abgelesen, in Grade Celsius verwandeln muß), sucht aus der Tafel LXXV des Anhanges den zugehörigen Wassergehalt der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft und berechnet endlich hieraus mit Hilfe des vom Zeiger des Instrumentes angezeigten relativen Feuchtigkeitsgehaltes (in % des vorigen angegeben) den wirklichen Feuchtigkeitsgehalt eines Kubikmeters Luft.

Hätte man z. B. abgelesen:

Lufttemperatur = + 9·6° R., relativer Feuchtigkeitsgehalt = 6·5%, so ergibt die Rechnung:

$$\text{Lufttemperatur} = \frac{5}{4} \times 9{\cdot}6 = 12{\cdot}0^\circ \text{ C.}$$

Nach der Tabelle LXXV des Anhanges enthält mit Feuchtigkeit gesättigte Luft von 12° C. per Kubikmeter 10·9 *g* Wasserdampf. Da die untersuchte Luft jedoch nach der Ablesung am Instrumente nur 65% Feuchtigkeit enthält, beträgt dies per Kubikmeter $\frac{10{\cdot}9 \times 65}{100} = 7{\cdot}09$ Gramm Wasserdampf.

2. Durch Bestimmung des Thaupunktes mittelst der Reductionsscheibe wird die Rechnung bedeutend vereinfacht. Die Thaupunktbestimmung wird folgendermaßen ausgeführt:

Man lese zuerst an dem Thermometer des Instrumentes ie Lufttemperatur ab, dann den vom Zeiger angegebenen Procentsatz der relativen Feuchtigkeit. — Letzteren sucht man uf der Procentscala der Reductionsscheibe und stellt ihm die ufttemperatur auf der Temperaturscala gegenüber; dann steht em 100%-Strich der Procentscala der Thaupunkt auf der 'emperaturscala gegenüber.

Sucht man nun in der Tabelle LXXV des Anhanges en der Thaupunkttemperatur ensprechenden Wassergehalt der amit gesättigten Luft, so ist diese Zahl zugleich der Wasserehalt von 1 m^3 der untersuchten Luft.

Hätten wir also wieder wie oben:

Lufttemperatur = + 9·6° R.

relativen Feuchtigkeitsgehalt = 65°

nd stellen wir 65% der Procentscala 9·6° der Temperaturala gegenüber, so steht der 100%-Strich der Temperatur 4·2 egenüber, und unser gesuchter Thaupunkt liegt daher bei 4·2° R. 'erwandeln wir denselben in Grade Celsius, so haben wir:

$$\text{haupunkt} = \frac{5}{4} \times 4{\cdot}2 = 5{\cdot}25^\circ \text{ C.}$$

n der Tabelle finden wir den Feuchtigkeitsgehalt der Luft
i 5° C. ....mit......... 7·3 Gramm Wasserdampf.
i 6° C. ....mit......... 7·7 " "

ifferenz für 1° C .... 0·4 Gramm Wasserdampf.
" " $\frac{1^\circ}{4}$ C .... 0·1 " "

omit Wassergehalt von 1 m^3 der untersuchten Luft (= Wasserhalt der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft von 5·25° C.) = 7·3 + 0·1 = 7·4 Gramme, was allerdings nicht ganz genau it dem Vorigen übereinstimmt, doch ist die Abweichung für raktische Zwecke immerhin noch nicht erheblich.

Was sonstige Beobachtungen anlangt, die bei der Unterchung von Feuerungsanlagen anzustellen sind, sehen wir von len jenen, welche — wie die Elektricitätsmessungen, Lichtirkemessungen 2c. — bei der Prüfung von Feuerungsanlagen

im engeren Sinne nicht in Betracht kommen, ganz ab, da uns hiezu der Raum mangelt.

Es bleiben somit nur noch die Methoden zu erwähnen, wie die Mengen der beim Versuch in Anwendung kommenden Rohmaterialien ꝛc. sowie deren Zusammensetzung ermittelt werden können.

Bezüglich der analytischen Methoden, deren man sich zur chemischen Untersuchung der festen und flüssigen Stoffe bedient, müssen wir hier auf chemische Handbücher*) verweisen, und wollen nur erwähnen, daß es von Wichtigkeit ist, sich richtige Durchschnittsproben zu verschaffen. Bei Brennstoffen, Erzen, Zuschlägen ꝛc. geschieht dies am zweckmäßigsten, wenn man von jeder aufgegebenen Schaufel ꝛc. eine kleine Portion wegnimmt und auf einem eigenen Haufen sammelt. Von diesem wird nun unter successiver Verkleinerung der Stücke, ein kleiner Haufen gebildet, indem man den ersten Haufen kreuzweise bis auf den Boden durchschaufelt und die herausgeschaufelten Stücke zu einem neuen, kleineren Haufen — am besten von quadratischer Grundfläche — gestaltet. In dieser Art wird so lange fortgefahren, bis man ein Häufchen von etwa 1 dm^3 Inhalt erhält, welches man am besten zur Analyse an ein chemisches Laboratorium sendet (wenn man kein eigenes zur Disposition hat.)

Gewisse Bestimmungen, wie z. B. der Wassergehalt der Kohlen, sowie der Wasser- und Aschengehalt des Rostdurchfalles müssen unbedingt an Ort und Stelle ausgeführt werden. Zu diesem Zwecke wird eine wie oben beschrieben erhaltene Durchschnittsprobe von entsprechender Größe auf einer geeigneten Wage gewogen und so lange einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt, bis keine Gewichtsabnahme mehr zu merken ist. — Der Gewichtsverlust entspricht dem Wassergehalte.

Die Aschenbestimmung wurde schon oben, p. 135 besprochen.

Von Eisensorten ist es sehr schwer, eine richtige Durchschnittsprobe zu erhalten,**) so daß es sich in diesem Falle

*) Fresenius: Analyt. Chemie; — Post: technisch-chemische Untersuchungen — Jüptner: „prakt. Handbuch für Eisenhüttenchemiker“ ꝛc.

**) So ergab die Untersuchung einer Durchschnittsprobe von Spiegeleisen alle möglichen Mangangehalte von 11 bis 17%; allerdings lagen die meisten gefundenen Werthe zwischen 13 und 14%.

empfiehlt, bei voraussichtlich gleichmäßigem Materiale nur ein beliebiges Probestück zu wählen, oder einige einzelne Probestücke getrennt untersuchen zu lassen.

Die Art, wie die Mengen an Kohle, Rostdurchfall sowie (bei Kesselfeuerungen) an Speisewasser ermittelt werden, beschreibt F. Schwackhöfer (allerdings speciell für Dampfkesselaulagen) wie folgt:

In der Regel ist man genöthigt, den Versuch während des gewöhnlichen Betriebes vorzunehmen, wobei folgende Umstände zu berücksichtigen sind:

Beim Beginn des Versuches muß der Dampfkessel bis zur normalen Höhe mit Wasser gefüllt sein, und jene Dampfspannung herrschen, bei welcher der Versuch durchgeführt werden soll. Der Aschenfall muß vollständig ausgeräumt, und das am Roste befindliche Brennmateriale bereits so weit abgebrannt sein, daß zur Erhaltung der Dampfspannung ein neuerliches Aufwerfen nothwendig ist.

Von nun ab wird das der Feuerung zugeführte Brennmateriale gewogen, das Volumen und die Temperatur des Speisewassers gemessen.

Die Menge des Speisewassers wird am Besten mit Hilfe eines Wassermeßapparates ermittelt, dessen Fehlerconstante bekannt ist. Da jedoch solche Meßapparate in den wenigsten Fabriken zu finden sind und die etwa vorhandenen wegen mangelhafter Construction ihren Zweck sehr häufig nicht erfüllen, so begnügt man sich mit der Bestimmung des Wasservolums im Speisereservoir, oder man berechnet das Volumen des verbrauchten Wassers aus dem Hubvolum und der Tourenzahl der Speisepumpe. Letzteres ist jedoch nur dann zulässig, wenn die Temperatur des Speisewassers constant ist, die Dimensionen der Pumpe genau bekannt sind und man sich von der richtigen Function derselben überzeugt hat.

Am Schlusse des Versuches muß der Wasserstand im Kessel derselbe sein, wie beim Beginne und ebenso die Kohlenschüttung auf dem Roste. Der Aschenfall wird wieder ausgeräumt und das Gewicht der Rückstände ermittelt.



Wenn wir auch schon früher mittheilten, auf welche Weise die Menge der in Verwendung kommenden Verbrennungsluft ermittelt wird, müssen wir hier doch noch einige andere zu diesem Zwecke in Anwendung stehenden Methoden in Kürze erwähnen. Man verwendet nämlich hiezu die folgenden Methoden:

1. Berechnung der Windmenge aus der Leistung der Gebläsemaschienen (Durchmesser des Gebläsecylinders, Hubhöhe und Tourenzahl). Diese Methode ist ganz unzuverlässig.

2. Aus dem Querschnitt der Düsen, der Temperatur und Pressung des Windes. Hierher gehört die von Philipp Maier nach der Formel

$$Q = 60 \times 395\, F \sqrt{(1 + 0{\cdot}00367\, t) \frac{k}{p-1} \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{k-1}{k}} \left[\left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]}$$

berechnete Tabelle*). In obiger, von Weißbach aufgestellten Formel bedeutet:

Q die theoretische Windmenge per Minute in Kubikmetern
F die Fläche der Düsenöffnung in Quadratmetern,
t die Temperatur der äußeren Luft,
p den absoluten Druck der äußeren Luft, dem Barometerstande entsprechend ($p = b$)
p_1 den absoluten Druck der inneren Luft, dem Barometerstande plus dem Manometerstande entsprechend; somit

$$\frac{p_1}{p} = \frac{b + h}{b}$$

k = 1·42, das Verhältniß der specifischen Wärme der Luft bei constantem Drucke zu jener bei constantem Volum.

Sehr gebräuchlich ist die nachfolgende Hauer'sche Tabelle.

Diese Tabelle gibt die pro Minute in eine Feuerungsanlage (z. B. einen Hochofen) eingeblasene Windmenge auf 0° Temperatur und Atmosphären-Druck reducirt an in Kubikmetern pro 1 cm^2 Düsenquerschnitt, wenn h die der Pressung des Windes an der Düse entsprechende Quecksilbersäule in Centimetern bezeichnet:

*) Oesterr. Montankalender, 1887, p. 171.

h Centimeter Quecksilber	Temperatur des Windes in Centi-Graden								
	0°	50°	100°	150°	200°	250°	300°	350°	400°
5	0·516	0·476	0·441	0·414	0·392	0·372	0·356	0·341	0·329
6	0·558	0·513	0·478	0·449	0·424	0·403	0·385	0·369	0·357
7	0·599	0·550	0·513	0·482	0·456	0·433	0·414	0·397	0·385
8	0·638	0·587	0·547	0·513	0·485	0·461	0·441	0·422	0·409
9	0·674	0·620	0·577	0·542	0·512	0·487	0·466	0·446	0·432
10	0·708	0·651	0·605	0·569	0·537	0·511	0·489	0·468	0·454
11	0·740	0·681	0·633	0·595	0·563	0·534	0·511	0·490	0·474
12	0·771	0·708	0·659	0·619	0·586	0·557	0·532	0·510	0·494
13	0·799	0·735	0·684	0·643	0·607	0·578	0·551	0·529	0·512
14	0·827	0·761	0·707	0·665	0·628	0·598	0·570	0·547	0·529
15	0·853	0·785	0·730	0·686	0·649	0·617	0·589	0·564	0·546
16	0·880	0·809	0·753	0·707	0·668	0·635	0·607	0·582	0·564
17	0·904	0·832	0·774	0·725	0·687	0·653	0·624	0·598	0·579
18	0·928	0·854	0·794	0·746	0·705	0·671	0·641	0·614	0·595
19	0·951	0·876	0·814	0·764	0·723	0·688	0·657	0·630	0·609
20	0·974	0·895	0·833	0·783	0·740	0·704	0·672	0·644	0·624
21	0·997	0·916	0·853	0·801	0·757	0·720	0·687	0·659	0·638
22	1·018	0·935	0·871	0·818	0·774	0·735	0·702	0·673	0·652
23	1·039	0·955	0·888	0·834	0·789	0·750	0·717	0·687	0·666
24	1·059	0·973	0·905	0·850	0·805	0·765	0·731	0·700	0·677
25	1·078	0·991	0·922	0·866	0·819	0·779	0·744	0·718	0·690
26	1·098	1·009	0·938	0·882	0·834	0·792	0·757	0·726	0·703
27	1·117	1·027	0·955	0·896	0·848	0·806	0·770	0·739	0·715

Hierbei ist keine Rücksicht genommen auf den Widerstand im Ofen (Verengung des Formquerschrittes durch Schlackenansätze; Widerstand durch Gegendruck der Schmelzmassen). Die erhaltenen Zahlen sind meistens um 10%, ja oft um mehr als 20% zu hoch.

3. Aus dem Kohlenverbrauche. Zur Verbrennung von 1 *kg* Kohlenstoff sind 5·2 m^3 atmosphärische Luft von 0° C. und 760 *mm* Barometerstand erforderlich. Ist nun A der vierundzwanzigstündige Kohlenverbrauch in *kg* und p ihr Gehalt an Kohlenstoff, so ist der Windbedarf per Minute

$$= \frac{A \cdot p}{275} m^3$$



4. Aus der Gasanalyse; respective aus dem Stickstoffgehalte der Essengase. Diese Methode gibt die verläßlichsten Resultate. Sie wurde bereits oben (p. 63) eingehend behandelt.

VI. Capitel.

Gasanalyse.

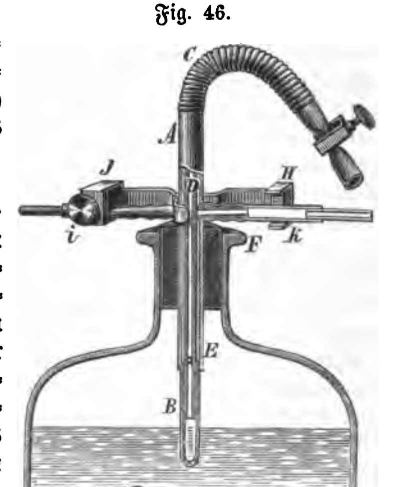
Die erste Bedingung, welche bezüglich der Gasanalysen gestellt werden muß, ist die, daß denselben thatsächlich eine richtige Durchschnittsprobe der Gase zu Grunde gelegt wird. Gerade die Gase zeigen z. B. an verschiedenen Stellen eines und des nämlichen Ofen- oder Gascanal-Querschnittes und zu verschiedenen Zeiten an einer und derselben Stelle häufig eine bedeutend verschiedene Zusammensetzung; und es haben daher z. B. sämmtliche älteren Hochofengichtgasanalysen, mögen sie auch noch so sorgfältig und genau ausgeführt worden sein, wie die von Bunsen und Anderen, keinen praktischen Werth.

Die Größe dieser Unterschiede in einem und demselben Horizonte anschaulich zu machen, mögen die folgenden Gasanalysen mitgetheilt werden:

Zusammensetzung Vol. %	Holzkohlenofen zu Hammarby, Schweden				Holzkohlenofen zu Harnäs bei Dannemora			
	Tiefe unter der Gicht m				Tiefe unter der Gicht m			
	2·97		4·16		5·05		9·87	
	Von der Ofenwandung	aus der Mitte	aus dem Ofen	aus der Gasleitung	An der Wandung	im Innern	An der Wandung	im Innern
CO_2	14·0	12·4	8·1	11·9	4·90	8·75	4·20	2·35
CO	22·4	23·1	29·5	22·7	30·75	26·65	26·30	33·05
CH_4	1·2	1·9	1·1	2·3	—	0·10	—	—
H_2	4·9	8·9	6·1	4·5	2·45	3·50	0·70	0·55
N_2	57·5	53·7	55·2	58·6	61·90	61·00	68·80	64·05
Summe	100·0	100·0	100·0	100·0	100·00	100·00	100·00	100·00
Wasserdampf auf 100 Volum trockenes Gas	—	2·5	0·2	0·3	—	—	—	—

Wir müssen uns hier auf die Beschreibung einiger Gassammelapparate sowie der Art und Weise der Bestimmung fester und flüssiger mit dem Gasstrome mitgerissener Körper beschränken, uns aber bezüglich der Gasanalyse selbst auf die einschlägige Literatur (insbesondere Cl. Winkler „Anleitung zur chem. Untersuchung der Industriegase", Hanns v. Jüptner, prakt. Handbuch für „Eisenhüttenchemiker" und Post chem. tech. Analyse ꝛc.) berufen. Als besonders geeignete Gasanalysenapparate (da sie auch die Bestimmung von Methan und Wasserstoff gestatten) können wir den von F. Schwackhöfer (ausführlich besprochen in Jüptner „prakt. Handbuch f. Eisenhütten-Chemiker") und den von Hempel (siehe Post „chemisch technische Analyse") besonders empfohlen.

Fig. 46.



a) Gassammelapparate.

Da es sich, wie schon erwähnt, darum handelt, möglichst richtige Durchschnittsproben aus einem größeren Gasvolum und während einer längeren Zeitperiode zu erhalten, so bleibt nichts anderes übrig, als das Gas in einem möglichst dünnen Strahle recht langsam anzusaugen. Hierzu bedient man sich mit großem Vortheile des Saugapparates von F. Schwackhöfer. Er besteht aus einer circa 10 bis 20 Liter fassenden Flasche, in deren Hals der in Fig. 46 abgebildete Heberhahn gesteckt ist. An das verticale Rohr AB ist bei B ein Kautschukschlauch gesteckt, der bis an den Boden der Flasche reicht. Bei A ist ein zweiter, ungefähr 1 Meter langer Kautschukschlauch aufgeschoben, welcher — um ein Abknicken zu verhindern — mit der Messingspirale C um-

wunden ist. Der ganze eben beschriebene Apparat wirkt als Heber und dient dazu, die Saugflasche mit Wasser zu füllen, respective zu entleeren. Das Rohr AB steckt in einem zweiten, weiteren Messingrohre DE, welches an seinem oberen Ende in die beiden engen horizontalen Messingröhrchen F und G mündet. An letzterer sind Kautschukschläuche angesetzt, welche mittelst am Arm HJ befestigter Schraubenquetschhähne k und i geöffnet oder geschlossen werden können.

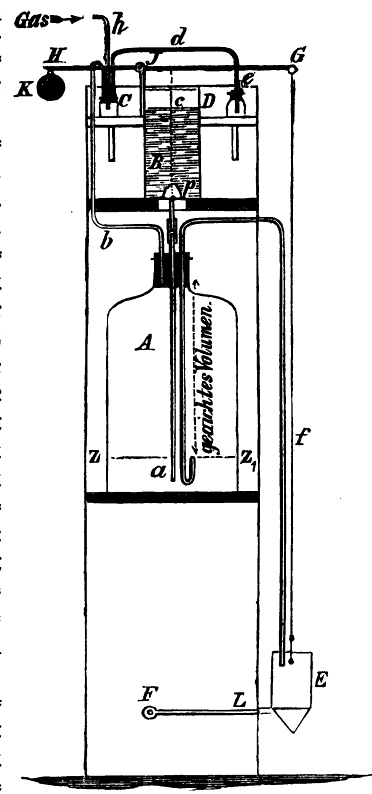
Will man eine Gasprobe sammeln, so wird die Flasche zunächst mit Wasser gefüllt, dessen Oberfläche mit einer circa 1 *cm* hohen Ölschichte bedeckt ist, um die Absorption von Kohlensäure 2c. möglichst zu verhindern. Dann wird der Heberschlauch mittelst eines Schraubenquetschhahnes geschlossen. Nun wird F mittelst eines genügend langen Kautschukschlauches *) und eines ziemlich engen, mit einem Messingansatze versehenen, gußeisernen Saugrohres mit der Gasquelle verbunden. Das Saugrohr wird mittelst eines Kork-, Holz- oder Metall-Stöpsels in eine Durchbohrung in der Wand jenes Raumes, aus welchem die Gasprobe genommen werden soll, eingesetzt, und mit Lehm lutirt, oder das Rohr wird auf eine andere, von den jeweiligen Umständen abhängige Art in den Gasstrom eingeführt und fixirt. Nun prüft man die Dichtigkeit der Leitung, indem man den Zuleitungsschlauch unmittelbar an dem Saugrohre mit den Fingern oder mittelst eines Schraubenquetschhahnes schließt, den Hahn h und den am Heberschlauche jedoch öffnet. Hört das Auslaufen des Wassers aus der Saugflasche bald auf, so ist die Leitung dicht. Nun saugt man, um die Luft aus der Rohrleitung zu vertreiben, die Flasche halb voll mit Gas, schließt h, hebt das Gefäß, welches das aus der Flasche ausströmende Wasser aufnimmt, stellt die Flasche tief und öffnet den Hahn i. Hierdurch wird das Gas aus der Flasche wieder ausgetrieben und diese wieder mit Wasser gefüllt. Nun wird i geschlossen, Flasche und Ablaufwasser-Sammelgefäß in die ursprüngliche Stellung gebracht, h geöffnet

*) Die Kautschukschläuche müssen aus reinem Kautschuk und ohne Naht hergestellt sein.

ınd mittelst des am Heberschlauch befindlichen Schraubenquetsch-
jahnes der Wasserablauf so geregelt, daß die Füllung der
Flasche mit Gas je nach den gegebenen Umständen eine bis
ier Stunden Zeit in Anspruch nimmt. Ist die Füllung be-
ndet, so wird h und der Hahn am Heberschlauch geschlossen.

Beim Füllen der Fla-
che mit Wasser muß man
arauf achten, daß das Öl
icht bis in die Kautschuk-
chläuche steige, da diese sonst
eiden.

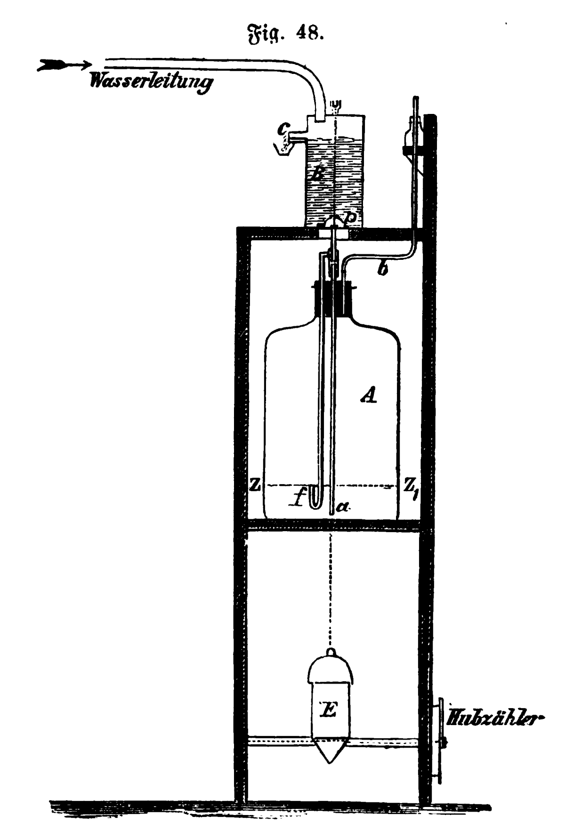
Fig. 47.



Zur Bestimmung mit-
erissener fester Bestandtheile,
on Ammoniak, Cyan ꝛc.
rscheint es wünschenswerth,
rößere Gasmengen abzu-
ugen, wozu sich der von
B. Schmiedhammer
onstruirte, in Fig. 47—48
ı zwei Schnitten abgebildete
Apparat verwenden läßt. Die
Saugflasche A wird mittelst
es bis zu ihrem Boden
eichenden Rohres a aus dem
ır Erzielung constanten Ni-
eau's mit dem Abflußrohre
versehenen Gefäße B mit
Wasser gefüllt. Die in A be-
ndliche Luft entweicht hier-
ei durch die Röhren b, d
nd e sowie die beiden Fla-
chen C und D. Ist A voll-
ändig gefüllt, so beginnt
as Wasser durch f in den
richter E abzufließen. Letz-
rer ist an dem um F drehbaren Hebel L befestigt und
leichzeitig mittelst eines Drahtes an den einen Arm des um
drehbaren Hebels GH gehängt. Das Gewicht K dient dazu,
n beide Hebel inclusive dem leeren Trichter E auszubalan-

ciren. Hat sich in E eine genügende Wassermenge gesammelt, so zieht es den Hebel L sowie den Hebelsarm GJ nach abwärts. Hierdurch aber schließt sich das an letzterem befestigte Ventil p, wodurch der Wasserzufluß von B nach A abgesperrt wird. Nun wirkt A als Aspirator und es tritt durch h und

Fig. 48.



C Gas in die Saugflasche. Ist der Wasserstand in der Flasche bis ZZ_1 gesunken, so hört das Abfließen auf, E entleert sich und L sowie JG wird durch das Gegengewicht K gehoben. Hierdurch öffnet sich aber auch das Ventil p, es fließt wieder

ſſer von B in die Flaſche A und verdrängt das Gas aus
erer auf demſelben Wege, wie früher die Luft und ſo
)erholt ſich das Spiel beliebig lange. Da am Hebelsarme
in Hubzähler (für 10000 Hübe) angebracht, und der Gas-
n in der Flaſche A bekannt iſt, läßt ſich das durchgeſaugte
volum leicht ermitteln.

Statt des vorbeſchriebenen Apparates kann man ſich auch
s kleinen Gasmeſſers (wie ſie beim Leuchtgaſe gebraucht
)en) im Vereine mit einem Doppel-Wende-Aſpirator oder
einer Filterpumpe bedienen.

3eſtimmung feſter und flüſſiger, mit dem Gas-ſtrome mitgeriſſener Körper.

Die mitgeriſſenen feſten Stoffe, welche hier in Frage
nen können, ſind Flugſtaub und Ruß. Beide werden da-
h beſtimmt, daß man eine bekannte, größere Gasmenge
:lſt eines der vorgeſchilderten Apparate durch eine 10 bis
m lange Schichte von Glaswolle ſaugt, letztere wirkt als
:r. Die Glaswolle wird ſammt dem Röhrchen, in welchem
nthalten iſt, zunächſt getrocknet und gewogen; nach dem
chſaugen des Gaſes aber nochmals bei 100° C. im Luft-
getrocknet und gewogen. Soll ſpeciell der Ruß quanti-
beſtimmt werden, ſo empfiehlt es ſich denſelben nachher
Sauerſtoffſtrome zu verbrennen und die entſtandene Koh-
ure unmittelbar zu wägen.

Eine directe Waſſerbeſtimmung iſt nicht zu empfehlen.
ı erhält den Waſſergehalt der Gaſe viel genauer durch
chnung, wie an anderen Orten ausführlich auseinander
t iſt.

Möglicher Weiſe kann man auch in die Lage kommen,
Generatorgaſen) den Theergehalt derſelben zu beſtimmen.
Dies geſchieht am zweckmäßigſten nach der vom Dr. F.
ſtrunk in Berlin angegebenen Methode (Cl. Winkler
itung zur chemiſchen. Unterſuchung der Induſtriegaſe, II p.
f.) Das Gas paſſirt zunächſt ein cylindriſches Waſchgefäß,
mittelſt Meſſingfaſſung und darauf geſchliffenem Deckel
icht verſchloſſen iſt. Es tritt durch ein bis zum Boden
:ndes Rohr in dieſen Apparat ein; über letzteres ſind
: Meſſingglocken geſchoben, welche mit Reihen von 1·5 *mm*

weiten Löchern versehen sind. Die Entfernung der einzelnen Löcher sowie der Lochreihen von einander darf nicht weniger als 5 *mm* betragen. Das Waschgefäß wird zur Hälfte mit Alkohol von 30 bis 35 Grad Tralles (25 bis 29 Gewichts %) gefüllt. An den Waschapparat schließt sich ein mit Wasser gefülltes U-Rohr. Das Gewicht des zuerst beschriebenen Waschapparates im trockenen Zustande muß bekannt sein. Der Alkohol in demselben hält fast allen mitgeführten Theer zurück, während von anderen Gasbestandtheilen kaum Spuren zurückgehalten werden. In den meisten Fällen wird die Watte hinter dem Waschapparate gar nicht gefärbt; nimmt sie aber eine bräunliche Farbe an, was nur bei sehr theerreichen Gasen der Fall ist, so wird dieser mit Schwefelkohlenstoff extrahirt und in einer gewogenen Schale bei gewöhnlicher Temperatur verdunsten gelassen. Das Gewicht des Rückstandes wird zur Correctur für den mit dem Schwefelkohlenstoffe abgedunsteten leichtest flüchtigen Theerantheile um $^1/_8$ vergrößert. Übrigens wird selten mehr als 0·5% der Gesammttheermenge in die Watte übergeführt, weshalb ein etwaiger Fehler unbedeutend erscheint. Nun wird der Waschapparat auseinander genommen, der an den Messingglocken haftende Theer mit Alkohol von 35 Grad Tralles zu dem Alkohol in die Waschflasche gespritzt und das Ganze 12 Stunden stehen gelassen. Hierauf filtrirt man durch ein trocken gewogenes Filter, trocknet es durch 12 Stunden im Exsiccator und wägt. Um endlich auch noch das Gewicht der trotz des Abspritzens an Glocken und Glasgefäß haftenden Theertheilchen zu ermitteln, wird der Apparat (ohne Alkoholfüllung) nochmals zusammengesetzt und durch Durchsaugen von 100 Liter trockener Luft getrocknet. Die Gewichtszunahme des Waschgefäßes entspricht den anhaftenden Theertheilchen. Zum Wägen des Waschapparates bedient man sich einer Wage, welche bei 1 *kg* Belastung noch auf mindestens 0·01 *g* empfindlich ist.

Ammoniak bestimmt man am bequemsten, indem man eine größere Gasmenge durch eine Waschflasche saugt, welche sehr verdünnte Schwefelsäure von bekanntem Gehalte enthält. Dieselbe wird mit etwas Rosolsäurelösung versetzt und das Gasdurchsaugen entweder so lange fortgesetzt, bis die Farbe der Waschflüssigkeit in Roth umschlägt, oder es wird der frei ge-

ne Schwefelsäurerest mit Alkali- (oder Ammon-) Titer gemessen. Bei der Berechnung darf man nicht darauf sen, daß die Schwefelsäure eine zweibasische Säure ist, also ein Molekül derselben zwei Molekülen Ammoniak icht.

Cyan wird analog dem Ammon durch Waschen des mit Kalilauge, Ausfällen mit Silberlösung, Ansäuern erdünnter Salpetersäure und Zurücktitriren des Silber- nach Volhard (siehe Jüptner „praktisches Handbuch isenhüttenchemiker p. 172) bestimmt. Macht sich beim tern ein stechender Geruch bemerkbar, der von der Gegen- von Cyansäure herrührt, so war das Cyan im Gase in undenem Zustande vorhanden, da die Absorption des Gases nach der Gleichung:

$$2\ CN + 2\ KOH = KCN + CNOK + H_2O$$

es gebundenen Cyans (Cyanwasserstoffsäure) aber nach Gleichung:

$$HCN + KOH = KCN + H_2O$$

t. Aus diesem Grunde muß die durch Titration gefundene menge, wenn es frei vorhanden war, verdoppelt werden.

Zum Schlusse dieses Capitels muß noch hervorgehoben n, daß man gut thut zur Ausführung von Gasanalysen Apparate zu wählen, welche neben CO_2, O und CO CH_4 und H zu bestimmen gestatten, da man sonst häufig in der Lage ist, den Stickstoffgehalt der Gase — aus em ja die zugetretene Luft berechnet wird — genau zu ermitteln.

IV. Abtheilung.

Die Prüfung der Feuerungsanlagen im Besonderen.

Der Zweck dieses Abschnittes ist, an der Hand einiger Beispiele zu zeigen, wie die Heizversuche in verschiedenen Fällen und je nach den disponiblen Mitteln ausgeführt werden können.

Mangel an Raum verbietet uns jede Art von Feuerungsanlagen mit einem Beispiele zu belegen, und noch viel mehr für jede Kategorie von Feuerungsanlagen an einer Reihe von Beispielen zu zeigen, wie die Heizversuche je nach den vorhandenen Mitteln — allerdings auch mit einem verschiedenen Grade von Richtigkeit — verschieden durchgeführt werden müssen.

Um an Raum zu sparen, werden wir in einigen Fällen auf andere Werke der chemisch-technischen, respective der elektrotechnischen Bibliothek uns beziehen, in welchen einschlägige Beispiele zu finden sind.

I. Capitel.

Bestimmung des Nutzeffectes von Heizanlagen für Wohnräume, &c.

Hier sind wir — besonders in allen jenen Fällen, wo die zu heizenden Räumlichkeiten auch einer eigenen Ventilation unterzogen werden — nur schwer im Stande die Luftmenge, welche zur Erwärmung gelangt, mit einiger Sicherheit ermitteln zu können.

Da es uns viel zu weit führen würde, uns in die sehr complicirten Details, welche bei der Ausnützung der Wärme bei Heizanlagen zur Erwärmung von Wohnräumen und ähn-

em in Betracht kommen, einzulassen, müssen wir alle jene, che sich über diesen Gegenstand näher informiren wollen, ein denselben speciell behandelndes vorzügliches Werk verssen, nämlich auf das „Lehrbuch der Heiz- und Lüftungsnik" von Friedrich Paul.*)

Hier wollen wir uns darauf beschränken, einige einschlägige zversuche als Beispiele anzuführen, um zu zeigen, wie solche den allereinfachsten Mitteln — allerdings nicht mit der ßten Genauigkeit und Ausführlichkeit angestellt werden können.

Heizversuch mit einem Meidinger Füllofen.

ɔeizt wurde ein Schulzimmer mit 200 m^3 Rauminhalt.
uer des Versuches: 5 Stunden.

Außen-Temperatur:

Beginn des Versuches ($9^h\ 30^m$ a. m.) = 0° R. } Mittel 4·5° R.
Ende „ „ ($2^h\ 30^m$ p. m.) = + 9° R. }

ɪentemperatur: um $9^h\ 30^m$ + 4° R.

„ $10^h\ 5^m$	14	
„ $10^h\ 30^m$	16	
„ 11^h —^{m}	14	
„ $11^h\ 30^m$	15·5	Mittel = 15·25° R.
„ $12^h\ 30^m$	16·5	
„ $1^h\ 30^m$	15	
„ $2^h\ 30^m$	14·5	

: Lufterneuerung war um

$10^h\ 30^m$	die	1 malige	
11^h —^{m}	„	$1^1/_2$ „	Mittel = 1·37 malige Luftmenge
$11^h\ 30^m$	„	$1^1/_2$ „	
$12^h\ 30^m$	„	$1^1/_2$ „	
$1^h\ 30^m$	„	$1^1/_2$ „	
$2^h\ 30^m$	„	$1^1/_5$ „	

Stunde.

nnstoffconsum = 9·5 *kg* Steinkohlen.

Nimmt man den Brennwerth der verwendeten Steinkohlen 6000 Cal. an (da mir nicht bekannt ist, welche Kohlenung verheizt wurde), so wurden im Ganzen geliefert:

9·5 × 6000 = 57000 Calorien.

*) A. Hartleben's Verlag in Wien.



Hiermit wurden $7 \cdot 45 \times 200 = 1490 \cdot 00$ m^3 Luft von der Außentemperatur 4·5° R. (= 5·6° C.) auf die Innentemperatur vom 15·25° R. (= 19·06° C.) erwärmt, wozu erforderlich waren $1490 \times 0 \cdot 3075 \times 14 \cdot 56 = 6670 \cdot 8$ Calorien

daher Nutzeffect etwa: $\frac{100 \times 6670 \cdot 8}{57000} = 11 \cdot 70\ \%$

In welcher Art die Wärmeverluste erfolgten, läßt sich nach den vorliegenden Versuchsdaten nicht ermitteln.

Heizversuch mit einem ähnlichen Ofen.

Geheizt wurde: ein Lehrzimmer von 214·5 m^3 Rauminhalt.
Dauer des Versuches: 5 Stunden.

Außentemperatur:

zu Beginn des Versuches (8^h 30 a. m) = + 2° R.
am Ende „ „ (1^h 30 p „) = + 6° R.
Mittel = 4° R. = 5° C.

Innentemperaturen:

um	8^h 30^m a. m	= 12° R.
„	9^h 30 „	= 16·5° „
„	10^h 30 „	= 16° „
„	11^h 30 „	= 16·5° „
„	12^h 30^m p. m	= 16° „
„	1^h 30^m „	= 16° „
Mittel		$= \frac{93 \cdot 0}{6} = 15 \cdot 5°$ R. = 19·4° C.

Von 9^h 30^m ab $1^1/_2$ malige Lufterneuerung per Stunde.
Brennstoffaufwand 4·8 kg Steinkohlen.
Die Feuergase entwichen mit einer Temperatur von 173° R. = 216·25° C.

Nimmt man, wie oben, den Brennwerth der verwendeten Steinkohle zu 6000 Calorien, so beträgt die gesammte Wärmeproduction (wobei wir zur Vereinfachung, und weil ja überhaupt die vorhandenen Daten ziemlich unvollständig sind, von der durch Verbrennungsluft und Kohlen mitgebrachten Wärmemenge absehen) $4 \cdot 8 \times 6000 = 28 \cdot 800$ Calorien.

Vorhanden waren 214·5 m^3 Luft. Die Lufterneuerung war wie oben erwähnt von 9^h 30^m bis 1^h 30^m (also durch 4 Stunden) per Stunde die $1^1/_2$fache, also im Ganzen die

ache; es gelangte somit $7 \times 214{\cdot}5 = 1501{\cdot}5\ m^3$ zur Er-
irmung um $19{\cdot}4 - 5 = 14{\cdot}4^0$ C, wozu an Wärme erfor-
rlich war: $1501{\cdot}5 \times 0{\cdot}3075 \times 14{\cdot}4 = 6649$ Calorien.

aher Nutzeffect etwa $\frac{100 \times 6649}{28800} = 23{\cdot}09\%$

Nimmt man — was von der Wahrheit nicht zu stark
weichen dürfte — an, daß die Verbrennungsgase das 14 fache
wicht der angewendeten Kohle besäßen, und die specifische
ärme derselben 0·24 betrage, so ergibt sich der Wärmeverlust
rch die abziehenden Feuergase mit:

$\times 4{\cdot}8 \times 0{\cdot}24 \times 216{\cdot}25 = 3488$ Calorien oder

$\frac{0 \times 34\,88}{8\,800} = 12{\cdot}11\%$

daß der Wärmeverlust durch den Kohlenstoffgehalt des Rost-
rchfalles sowie durch unvollkommene Verbrennung der entstehen-
n brennbaren Gase $100{\cdot}00 - (23{\cdot}09 + 12{\cdot}11) = 64{\cdot}80\%$
tragen würde.

Endlich möge hier noch als drittes Beispiel ein Auszug
s dem Berichte über die mit einem Meidinger Patent-Re-
lir-, Füll- und Ventilations-Ofen im Auftrage der Direction
r ausschließlich privilegirten Kaiser Ferdinands-Nordbahn
rchgeführten Heizversuche mitgetheilt werden.

Die mit dem Meidinger-Patentofen C Nr. 2 angestellten
rsuche dauerten ununterbrochen durch 15 Tage hindurch in
r Zeit zwischen 7 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends in zwei
calen, wovon das eine von circa 4550 Kubikfuß Raum-
halt (etwa 505 m^3) 2 Fenster von zusammen 112 Quadrat-
ß und einer Ausgangsthüre von 57·3 Quadratfuß und das
eite Locale von 2100 Kubikfuß (etwa 233 m^3) Inhalt ein
nster von 66 Quadratfuß enthält.

Der Versuch ergab (siehe Tabelle) die folgenden Resultate:

Die äußere Temperatur variirte um 7 Uhr Morgens
ischen $-4{\cdot}4$ und $+6{\cdot}9^0$ R. während die Temperatur in den
beheizenden Räumen vor der Füllung des Ofens, d. i.
Uhr Morgens, in den Grenzen $12{\cdot}8^0$ und $14{\cdot}6^0$ R. schwankte.

Es war somit die mittlere äußere Temperatur während
ganzen Versuchszeit $+ 1{\cdot}7^0$ R. während die mittlere innere
derselben Zeit und vor der Füllung $13{\cdot}9^0$ R. betrug.



Tabellarische

der Resultate der mit einem Meidinger-Patent-Regulir-Füll- und Venti-
Ferdinands-Nordbahn von deren Strecken-

Tage der angestellten Versuche	Inhalt der beheizten Räume in Cubikfuß	Äußere Temperatur Morgens 7 Uhr in ° R.	Äußere mittlere Tages-Temperat. zwisch. 7 Uhr Morg. u. 7 Uhr Abends	Mittlere innere		
				Vor der Füllung 7 Uhr Morgens	Während um 10	12
13. Jän. 1874	Die zu beheizenden Räume hatten an Rauminhalt: Das erste Locale mit zwei Fenstern und einer Thüröffnung von zusammen 169·3 Quadratfuß einem Rauminhalt von 4550 Kubikfuß und das zweite Locale, mit einem Fenster von 66 Quadratfuß, einen Rauminhalt von 2100 Kubikfuß; somit zusammen an Inhalt 6650 Cubikfuß und Fenster und Thüröffnungen an Fläche von 246 Quadratfuß.	— 4·4	— 2·60	12·8	13·4	13·9
14. „ „		+ 4·5	+ 4·90	14·0	15·0	15·9
15. „ „		+ 4·8	+ 4·90	14·2	15·4	16·4
16. „ „		— 1·1	— 0·63	13·6	14·0	14·2
17. „ „		— 1·0	— 0·20	13·5	15·3	16·0
18. „ „		+ 1·1	+ 1·63	14·1	15·6	16·2
19. „ „		+ 0·3	+ 1·68	14·0	15·3	16·0
20. „ „		+ 6·9	+ 6·93	14·6	15·2	16·1
21. „ „		+ 2·5	+ 4·23	14·3	15·0	15·0
22. „ „		+ 5·3	+ 6·80	14·1	15·2	16·3
23. „ „		— 0·5	+ 1·16	13·5	14·8	16·0
24. „ „		+ 0·8	+ 1·83	14·0	15·0	16·0
25. „ „		+ 6·3	+ 7·00	14·2	15·0	15·9
26. „ „		— 2·5	— 1·00	13·6	14·8	15·5
27. „ „		+ 3·7	+ 4·40	14·6	14·5	15·4
im Mittel		+ 1·70	+ 2·682	13·9	14·90	15·61

Die Temperatur um 6 Uhr Abends variirte zwischen 16·2 und 17·5° R. somit wurde im Durchschnitt eine tägliche Temperaturerhöhung bis auf 16·82° R. erzielt.

Während der ganzen Versuchszeit wurden zusammen 451 Zollpfund Kohle verwendet, und mit diesem Heizmateriale im Ganzen 12·2 × 15 = 183° R. Wärme constant erhalten, sowie 2·92 × 15 = 43·8° R. Wärme geschaffen, in einem Raume von 6650 Kubikfuß (etwa 750 m^3) Inhalt.

In einem Tage, d. i. per 24 Stunden, wäre dann der

Aufstellung

lationsofen C_2 im Auftrage der Direction der ausschließ. priv. Kaiser leitung in Wien durchgeführten Heizversuche.

Temperatur des Heizens Uhr 2	4	6	Durchschnittliche Tages-Temperatur im geheizten Raume	Füllung mit Ostrauer Würfelkohle in Zollpfund	Anmerkung
15·9	15·8	16·3	14·88	35 Pfund	Das Feuer zwischen 10 und 12 Uhr wegen gänzlicher Schließung der Feuerthüre ausgegangen.
16·6	17·0	17·3	16·30	35 "	Bei Reinigung und Füllung des Ofens glühende Kohlen angetroffen.
17·0	17·3	17·5	16·76	32 "	dto.
15·0	16·3	16·9	15·28	32 "	Die Verbrennung ging regelmäßig vor sich.
17·0	17·3	17·5	16·62	30 "	Unverbrannte Kohlen geblieben, das Feuer ging aus wegen gänzl. Öffnung des Vetilationsrohres und zu geringer Öffnung d. Heizthürchens. Verbr. nicht regelmäßig.
nicht beobachtet			15·90	30 "	Bei gleichmäßiger äußerer Temperatur. Die Verbrennung regelmäßig.
16·8	17·2	17·0	15·46	30 "	Die äußere Temperatur bewegt. Verbrennung regelmäßig.
16·5	16·8	16·9	16·20	28 "	
15·5	16·2	16·5	15·64	28 "	Das Feuer aus unbekannter Ursache ausgegangen. Unvollst. Verbrennung.
16·5	16·6	16·6	16·24	28 "	Vollständige Verbrennung.
16·6	17·0	17·0	16 28	27 "	dto.
16·3	16·8	16·3	16·06	27 "	dto.
nicht beobachtet			15·13	28 "	
16·0	17·2	16·3	15·96	25 + 10 Pf.	Der Ofen wurde nachgefüllt. Die Luft sehr bewegt.
16·7	16·8	16·7	15·80	26 Pfund	Windig und naßkalt.
16·23	16·79	16·82	15·989	30·66 Pfund	per 24 Stunden

Consum von Brennstoff $\frac{1}{15} \times 451 = 30$ Pfund; wobei bemerkt wird, daß diese Kohlencharge beinahe durch 24 Stunden anhaltend war.

Die höchst gleichmäßige mittlere Zimmertemperatur betrug selbst in den kältesten Tagen über 16° R. An dem kältesten Tage betrug der Temperaturunterschied um 7 Uhr Morgens 17·2° R. (4·4° R. Kälte und 12·8° R. Wärme).

Der mittlere wirkliche Temperaturunterschied zwischen dem geheizten Raume und der freien Luft (+ 16·82 und + 1·7° R.)

beträgt 15·12° R. Darnach stellt sich der Verbrauch an Ko
für die Heizung zweier Zimmer von 6650 Kubikfuß Inhalt p

Tag und Wärmegrad auf $\frac{451}{15 \times 15{\cdot}12} = \frac{451}{226{\cdot}8} = 1{\cdot}987$ Pfun

somit beträgt der Verbrauch an Brennmateriale für die con
stante Erhaltung der Wärme von 12·2° R. und die Erhöh
derselben im Mittel bis auf 15·12° R. per Tag 15·12 × 1·987 =
30 Pfund.

Die Füllung des Ofens geschah während der ganzen Ve
suchszeit um halb 8 Uhr Früh und wurde mit 45 Pfun
Kohle begonnen. In der Folge wurde das Brennmaterial b
auf 25 Pfund vermindert, welches Quantum vollkomm
genügte, in dem schon erwärmten Raume die Temperatur i
demselben Maße zu erhöhen, wie es mit dem größeren Qua
tum erzielt wurde. Sonach kann man den durchschnittliche
Verbrauch an Material per Tag = 25 Pfund, somit per Ta

und Wärmegrad $= \frac{25}{15{\cdot}12} = 1{\cdot}654$ Pfund annehmen. E

wurde somit — wie aus vorstehender Tabelle zu ersehen ist — pe
Tag und Grad aus mangelnder Erfahrung um 1·987 — 1·65
= 0·333 Pfund Brennmateriale mehr als nöthig verbrauch

Die Vertheilung der Wärme war in dem 6650 Kubikfu
fassenden Raume eine so vollkommene, daß das Thermometer beim
Fenster (entgegengesetzt vom Ofen) und das Thermometer a
der Scheidewand der beiden Locale (nahe beim Ofen) nur eine
Temperaturdifferenz von nicht einmal 1° R. erreichte.

Die vorstehenden drei Heizversuche können durchaus keinen
Anspruch auf Vollständigkeit machen und sollen auch nicht für
ähnliche Fälle zur Nachahmung empfohlen werden. Im Gegen
theile wollen wir es als Regel aufstellen Heizversuche —
welcher Art sie auch immer sein mögen — so vollständig als
irgend möglich auszuführen. Derartige vollständige Heiz
versuche liefern nicht nur für den gegebenen Fall selbst die
besten und sichersten Aufschlüsse, sondern helfen — wenn sie
publicirt werden, was stets als höchst wünschenswerth bezeichne
werden muß — die Lehre von der Verwendung der Wärme
immer weiter ausbauen. Die vorstehenden Beispiele sollen

aber zeigen, wie man selbst mit einfachen Mitteln mindestens annähernde Daten zur Vergleichung von Feuerungsanlagen gewinnen kann, wie man also selbst in Fällen, wo man nur über Thermometer und Wage verfügt, immerhin noch nutzbringende Untersuchungen anstellen kann.

Indem wir von der Beibringung anderer Beispiele absehen, wollen wir am Schlusse dieses Capitels noch einige Daten über den Nutzeffect verschiedener hierher gehöriger Heizungsanlagen anführen.

a) Nach Morin.

(Der Nutzeffect bezieht sich auf die zur Entwicklung gelangende Wärme).

Gewöhnlicher Kamin	10—12%	Nutzeffect.
Kamin mit Luftcirculation	33—35 „	„
Gewöhnlicher Ofen, nicht ummantelt .	83—90 „	„
Thonofen, mit Holz geheizt . . .	87 „	„
Schmiedeiserner Ofen mit Luftcirculation	68—93 „	„

Nach H. Fischer.

Stubenöfen von Dienstboten bedient (die Nutzeffecte sind auf den calorimetrischen Heizeffect der Brennstoffe bezogen.)

Minimum	15—20%	Nutzeffect
Durchschnitt	20—30 „	„
Maximum	40 „	„
Maximum bei größeren Feuerungen	50—70 „	„

II. Capitel.

Kesselfeuerungen.

Als Beispiel wählen wir eine Kesselfeuerung mit mittelmäßigem Betriebe, wie er in den meisten Fällen angetroffen wird, und den wir einem Vortrage Prof. F. Schwackhöfer's im österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein entnehmen.

Die Anlage besteht aus drei gleich construirten Kesseln mit je zwei Unterkesseln. Jeder Kessel besitzt eine Gesammt-Roststäche von 1·67 m^2 und eine Gesammt-Heizfläche von 50 m^2.

Das Verhältniß dieser Beiden stellt sich daher wie 1:30. Die drei Kessel sind nebeneinander aufgestellt und besitzen eine gemeinsame Einmauerung. Die Feuerung besteht aus je einem Planroste.

Zur Zeit der Versuchsanstellung waren alle drei Kessel im Betriebe. Bei dem in der Mitte situirten Kessel, welcher als Versuchsobjekt diente, wurde die Verdampfung bei freiem Abzug des Dampfes vorgenommen, um das Ueberreißen des Wassers zu verhindern, während die beiden seitlichen Kessel Dampf für den normalen Fabriksbetrieb lieferten. Der Versuchskessel war nach der Reinigung sämmtlicher Feuerzüge acht Tage im Betrieb.

Die Querschnittsöffnung bei der Rauchklappe betrug anfänglich 0·18 m^2 und wurde nach Vornahme der ersten Essengasanalyse auf 0·12 m^2 reducirt. Der Heizversuch dauerte von 8 Uhr Früh bis 6 Uhr Abends. In diesen zehn Beobachtungsstunden wurden 1286 *kg* Kohle verbrannt und damit 8100 *kg* Wasser verdampft.

Der Kessel wurde um 5 Uhr Früh angeheizt. Um 8 Uhr wurde der Aschenfall vollständig ausgeräumt, das Wasserniveau am Standzeiger markirt und von nun ab mit gewogener Kohle geheizt. Zur Heizung diente Ostrauer Nußkohle, welche in tarirten Karren zugeführt wurde. Die Zählung und Aufschreibung derselben geschah doppelt, das erste Mal bei der Wage, das zweite Mal beim Kessel. Von jeder Schaufel wurde ein Stück Kohle in einen Kübel geworfen, aus welchem die Durchschnittsprobe für die chemisch-physikalische Untersuchung genommen wurde. Die ganze, auf solche Art angesammelte Probe betrug 28 *kg*, welche bei der Berechnung von der zugewogenen Kohle in Abzug gebracht wurden.

Zur Speisung wurde mit Aetzkalk und Soda präparirtes Brunnenwasser verwendet, welches in einem Röhrenwärmer auf 56° C. angewärmt wurde. Die Messung des Wassers erfolgte im Speisereservoire und zur Controle auch noch mittelst eines Schmied'schen Meßapparates.

Der Wasserstand im Kessel wurde während der ganzen Versuchsdauer annähernd gleichgehalten. Im Ganzen wurden 6 Rauchgasanalysen vorgenommen. Jede Probe wurde durch einstündige Aspiration gewonnen.

Zur Gassammlung dienten Flaschen von je 20 l. Capa-
ät. Auf dem Wasser befand sich eine 2 *cm* starke Oelschichte,
n die Absorption der Kohlensäure zu verhindern. Das Gas-
ugrohr war im Rauchcanale 2 *m* vom Kessel eingesetzt und
dichtet. Das Register befand sich noch weitere 2 *m* (gegen
n Kamin zu) entfernt.

Die Temperatur der Rauchgase wurde mit einem Wasser-
off-Quecksilber-Thermometer gemessen, welches neben dem
augrohre im Rauchcanal eingesetzt und gedichtet war. Die Tem-
ratur der Rauchgase wurde von 15 zu 15 Minuten abgelesen.

Am Schlusse des Versuches war die Beschickung des
ostes annähernd die gleiche wie bei Beginn. Der Aschenfall
ırde wieder ausgeräumt und das Gewicht der Rückstände
stimmt.

Zusammenstellung der Versuchsdaten:

Elementarzusammensetzung der Kohle:

Kohlenstoff	69·10%	
Wasserstoff	2·70 „	
Stickstoff	0·35 „	
Wasser, chemisch gebunden	12·93 „	1·43 Wasserstoff; 11·50 Sauerstoff
Wasser, hygroskopisch ..	3·47 „	
Asche	11·45 „	
	100·00%	

ehalt an verbrennlichem Schwefel 0·34%
bsoluter Wärmeeffect (calorimetrisch bestimmt) = 6668 Calorien.

heoretischer Verdampfungswerth $\frac{6668}{637} = 14·47$

Theoretisch erforderliches Luftquantum zur vollständigen
erbrennung von 1 *kg* Kohle .... 9·05 *kg*.
er 7·88 m^3 von 25° C. und 750 *mm* Quecksilberdruck.
olumprocentische Zusammensetzung der trockenen Essengase:

Kohlenoxyd	0·2%	Minimum = 0·1; Maximum = 0·4
Kohlensäure	6·1%	Minimum = 5·1; Maximum = 6·9
atmosphärische Luft	68·7%	Minimum = 65·9; Maximum = 72·0

Stickstoff .... 25·0%
Wasserstoff ...... 0·0 „
Methan .... 0·0 „
100·0%

Die Verbrennung erfolgte im Mittel mit einem Luft-überschusse von 1:1·82

Flugrußbestimmung:

Kohlenstoff pro 1 *kg* Kohle im Mittel aus drei Bestimmungen 0·007 *kg*.

Temperatur der Essengase:

Minimum = 310° C.
Maximum = 425° C.

Mittel aus 40 Beobachtungen = 375° C.

Temperatur der zuströmenden atmosphärischen Luft:

Minimum = 20·5° C.
Maximum = 27·3° C.

Mittel aus 10 Ablesungen während der ganzen Versuchsdauer = 25·0° C.

Feuchtigkeitsgehalt der atmosphärischen Luft in Gewichtsprocenten = 0·75%.

Verdampfungsversuch:

In den 10 Beobachtungsstunden wurden 1286 *kg* Kohle verbrannt und damit 8100 *kg* Wasser verdampft. Verdampfung pro 1 *kg* Kohle $\frac{8100}{1286} = 6{\cdot}3$

Verbrannte Kohle pro Stunde und Quadratmeter Rostfläche 77 *kg*. Verdampftes Wasser pro Stunde und Quadratmeter Heizfläche 16 *kg*.

Temperatur des Speisewassers:

Minimum = 51·6° C.
Maximum = 58·9° C.

Im Mittel aus 20 Beobachtungen während des ganzen Versuches 56·0° C.

Gewicht und Zusammensetzung der Rückstände:

In den 10 Beobachtungsstunden wurden 160·8 *kg* Rückstände gesammelt; das gibt pro 1 *kg* der verbrannten Kohle 0·125 *kg* welche aus 0·057 *kg* Kohlenstoff und 0·068 *kg* Asche bestehen. (Hierbei wurde der verbrennliche Antheil der Rückstände, der Einfachheit wegen als Kohlenstoff angenommen.)

Berechnung des Heizversuches.

Berechnung des Wärmeverlustes durch das Essengas:

a) Umrechnung der durch die Gasanalyse ge-
ındenen Volumina der einzelnen Gase auf Ge-
ichtstheile.

	Litergewicht in Grammen	×	Volum-Theile	=	Gewichtstheile
ohlenoxyd.......	1·2515	×	0·2	=	0·250
ohlensäure......	1·9666	×	6·1	=	11·996
mosphärische Luft	1·2936	×	68·7	=	88·870
tickstoff.........	1·2566	×	25·0	=	31·415

b) Berechnung des Gewichtes der einzelnen
asgemischtheile pro 1 *kg* der verbrannten Kohle:

In 1 *kg* Kohle sind 0·691 *kg* Kohlenstoff enthalten,
ıvon gehen 0·057 *kg* in den Aschenfall, 0·007 *kg* entweichen
s Flugruß und gelangen somit 0·627 *kg* zur Verbrennung.

Gewichtsth. Kohlenoxyd enth. 0·4286 Gewichtsth. Kohlenstoff
„ Kohlensäure „ 0·2727 „ „

n 0·250 *kg* Kohlenoxyd sind 0·10715 *kg* Kohlenstoff
11·996 „ Kohlensäure „ 3·27131 „ „

Summa 3·37846 *kg* Kohlenstoff

thalten.

Im Essengas von 1 *kg* der verbrannten Kohle sind
mnach enthalten:

ı Kohlenoxyd $\frac{0·10715 \times 0·627}{3·37846} = 0·0199$ *kg* Kohlenstoff

der Kohlensäure $\frac{3·27131 \times 0·627}{3·37846} = 0·6071$ *kg* Kohlenstoff

ıd diese entsprechen:

0·047 *kg* Kohlenoxyd und
2·226 „ Kohlensäure.

Auf 3·37846 *kg* Kohlenstoff im Essengase entfallen
3·87 *kg* atmosphärische Luft, auf 0·627 *kg* Kohlenstoff daher

$\frac{88·87 \times 0·627}{3·37846} = 16·493$ *kg* atmosphärische Luft.



Für Stickstoff ergibt sich in der gleichen Weise

$$\frac{31 \cdot 415 \times 0 \cdot 627}{3 \cdot 37846} = 5 \cdot 830 \; kg$$

Der Wassergehalt des Essengases setzt sich zusammen

1. aus dem Wasser, welches schon als solches in der Kohle enthalten war:

$$(0 \cdot 1293 + 0 \cdot 0347 = 0 \cdot 164);$$

2. aus dem Wasser, welches durch Verbrennung des disponiblen Wasserstoffes entsteht

$$(0 \cdot 027 \times 9 = 0 \cdot 243);$$

3. aus dem Wassergehalte der zur Feuerung strömenden atmosphärischen Luft: 77 Gewichtstheile Stickstoff entsprechen 100 Gewichtstheilen Luft, daher

$\frac{5 \cdot 83 \times 100}{77} =$ 7·571 Luft zur Verbrennung verbraucht
16·493 „ im Überschusse
24·064 *kg* Luft in Summa.

Die zuströmende Luft enthielt 0·75 Gewichtsprocente Wasserdampf

$$99 \cdot 25 : 0 \cdot 75 = 24 \cdot 064 : x$$
$$x = 0 \cdot 1818$$

Auf 1 *kg* der verbrannten Kohle entfallen demnach Kilogramme Wasser:

0·164 + 0·243 = 0·4070 aus der Kohle } Summa 0·5888
0·1818 „ „ Luft }

c) Berechnung der Wärmecapacität des Essengases:

	kg Gas pro 1 *kg* Kohle	×	Specifische Wärme	=	Wärmecapacität
Kohlenoxyd	0·047	×	0·246	=	0·012
Kohlensäure..........	2·226	×	0·216	=	0·501
atmosphärische Luft..	16·493	×	0·238	=	3·765
Stickstoff	5·830	×	0·244	=	1·423
Wasserdampf	0·589	×	0·481	=	0·283
			Summa		5·984

d) Berechnung der Wärmecapacität der zugeströmten Luft:

	Kilogramm	×	spec. Wärme	=	Wärmecapacität
Atmosphärische Luft	24·064	×	0·238	=	5·726
Wasserdampf	0·182	×	0·481	=	0·088
			Summa	=	5·814

e) Berechnung des Wärmeverlustes durch das Essengas in Calorien:*)

	Wärmecapacität	×	°C	=	Calorien
Im Essengas	5·984	×	375	=	2234
In der zugeführten Luft	5·814	×	25	=	145
Demnach Verlust					2089

II. Berechnung des Wärmeverlustes durch unvollkommene Verbrennung.

	Kilogramm	×	Brennwerth	=	Calorien
a) durch Kohlenoxyd	0·047	×	2403	=	113
b) „ Flugruß (C)	0·007	×	8080	=	57
c) „ den Kohlenabgang im Aschenfalle ...	0·057	×	8080	=	461
			Total		631

III. Berechnung des Wärmeverlustes durch Strahlung und Leitung

Die Gesammtwärme, welche zur Dampfbildung beansprucht wurde, ergibt sich aus der Régnault'schen Formel

$$W_t = 606·5 + 0·305\ t$$

kg Dampf pro
1 *kg* Kohle
mit $6·3 \times [606·5 + 0·305\,(t - 56)] = 3660$ Calorien.

*) Die hier gegebene Berechnung des Wärmeverlustes durch Essenzug ist strenge genommen nicht ganz richtig, indem ja der thatsächliche Wärmeentgang durch Essenzug 2234 Calorien beträgt, während die von der zutretenden Verbrennungsluft zugeführten 145 Calorien zu der Wärmeproduction geschlagen werden sollten. Zu letzterer wäre übrigens auch noch die von der Kohle vermöge ihrer Temperatur mitgebrachte Wärme (so klein sie auch ist) zuzuschlagen. Endlich muß noch auf einen kleinen Fehler aufmerksam gemacht werden, der dadurch entstand, daß die latente Verdampfungswärme des Wassers vernachlässigt wurde. Wir haben dieses Beispiel unter anderen auch deshalb gewählt, um auf diese Verschiedenheiten in der Berechnung und Anordnung der Heizversuche aufmerksam machen zu können.

Calorischer Werth der Kohle — nutzbar gemachte Wärme = Gesammtverlust Calorien

Alle Verluste zusammen betragen daher:

$$6668 - 3660 = 3008 \text{ Calorien}$$

Daraus ergibt sich der Verlust durch Strahlung nnd Leitung mit:

$$3008 - (2089 + 113 + 57 + 461) = 288 \text{ Calorien}$$

Wärmevertheilung:

1. Zur Dampfbildung nutzbar gemacht $\frac{3660 \times 100}{6668} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 54{\cdot}89\%$
2. Schornsteinverlust $\frac{2089 \times 100}{6668} = 31{\cdot}33\%$
3. Verlust durch unvollständige Verbrennung, u. zw.
   a) Entweichen von brennbaren Gasen $\frac{113 \times 100}{6668} = 1{\cdot}69\%$
   b) Flugruß $\frac{57 \times 100}{6668} = 0{\cdot}85\%$
   c) Kohlenabgang in den Aschenfall $\frac{461 \times 100}{6668} = 6{\cdot}91\%$
4. Strahlungs- und Leitungsverlust $\frac{288 \times 100}{6668} = 4{\cdot}33\%$

(Posten 2–4:) Gesammt-Verlust $45{\cdot}11\%$

Summa $100{\cdot}00\ \%$

Hier mögen noch einige Angaben über die Größe des Nutzeffectes und der verschiedenen Wärmeverluste bei Dampfkesseln mitgetheilt werden, von denen die meisten allgemeine Giltigkeit haben.

Die Größe des Nutzeffectes bei Kesselfeuerungen schwankt in der Regel zwischen 50 und 70%, doch kommen auch Ueberschreitungen dieser Grenzwerthe nach beiden Richtungen vor (So sind in Schwackhöfers landwirthschaftlich-chemischer Technologie 3 Heizversuche mitgetheilt, die 81·05, 49·38 und 45·98%

Nutzeffect nachweisen, während ein in Jüptner's Handbuch f. Eisenhüttenchemiker gegebenes Beispiel 58·20% Nutzeffect ergab.

Der Wärmeverlust durch die Temperatur der Essengase ist ziemlich erheblich; doch darf man nicht vergessen, daß dieselben eine bedeutend höhere Temperatur als die Luft besitzen müssen, um den dynamischen Effect des Schornsteines zu verursachen. Es ist also ein ziemlich erheblicher Wärmeverlust unvermeidlich und ein solcher bis zu einem gewissen Grade gar nicht als Verlust aufzufassen, doch genügt zur Herstellung eines hinreichenden Essenzuges eine Temperatur der Rauchgase von 150 bis 200° C. In der Praxis steigt diese Temperatur jedoch oft weit höher, ja selbst auf 500° C. und dann sind die hierdurch bewirkten Wärmeverluste sehr bedeutend, und man muß daher trachten, diesen Verlust durch passende Constructionen zu reduciren oder die überschüssige Wärme der Essengase anderweitig nutzbar zu machen.

Die Nothwendigkeit eines Luftüberschusses zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung wurde schon an anderer Stelle betont, ebenso aber auch der Nutzen von Gasfeuerungen, welche eine bedeutende Reduction dieses Luftüberschusses gestatten (siehe p. 74 und 172).

Das Auftreten von unverbrannten Gasen in der Esse bewirkt deshalb einen ziemlich erheblichen Wärmeverlust, weil gerade die Verbrennungswärmen dieser Gase (CO, H, CH_4, C_2H_4 ꝛc.) sehr hoch sind; — dessen ungeachtet sind die hierdurch bewirkten Wärmeverluste weit seltener so erheblich, als die durch zu großen Luftüberschuß hervorgerufenen.

Derartige unverbrannte Gase erscheinen wohl meistens in Folge zu geringen Luftzutrittes zur Feuerung, doch können sie in Folge mangelhafter Wartung des Feuers auch dann auftreten, wenn die Gasanalyse einen bedeutenden Luftüberschuß nachweist. Ist nämlich das Brennmaterial am Roste schon sehr zusammengesunken, so liefert die Verbrennung desselben, da eine sehr bedeutende Luftmenge zu demselben Zutritt hat, nur Kohlensäure und es erscheint ein großer Luftüberschuß in der Gasprobe. Wird nun der Rost plötzlich (insbesondere an einer Stelle) stark beschickt, so entwickelt sich auf einmal eine große Menge brennbarer Gase, die keine genügende Luftmenge

zur vollständigen Verbrennung vorfinden, und so kommt in die, während einer längeren Zeitperiode gesammelte Gasprobe gleichzeitig ein bedeutender Luftüberschuß und ein Antheil an unverbrannten Gasen.

Bei der unvollkommenen Verbrennung entzieht sich aber auch noch ein Theil des Kohlenstoffes der Verbrennung, indem er sich theils aus den brennbaren Gasen als Flugruß abscheidet, theils in Form kleiner, größtentheils verkokter Kohlenstücke durch die Rostspalten in den Aschenraum fällt oder durch einen Schlackenüberzug an der Verbrennung gehindert wird, theils endlich (wie bei Schachtöfen) in dem pulverigen Antheile desselben als Gichtstaub aus dem Ofen entführt wird. Die Wärmeverluste durch Flugrußbildung sind nicht so bedeutend als man gewöhnlich glaubt. Wenn schwarzer Rauch aus dem Schornstein entweicht ist dies zwar stets ein Beweis, daß die Verbrennung keine vollständige ist, allein der Hauptwärmeverlust wird nicht durch den gebildeten Ruß, sondern durch entweichende brennbare Gase verursacht.

Die Größe jenes Verlustes, welche durch das Unverbranntbleiben des angewendeten Brennmateriales hervorgerufen wird, hängt hauptsächlich von dem Verhalten desselben in der Hitze und erst in zweiter Linie von der Construction des Rostes ab.

Der Verlust jener Wärmemengen, welche die im glühenden Zustande in den Aschenfall gelangende Asche und Schlacke mit sich bringt, ist an und für sich weniger bedeutend, umsomehr als diese Wärme wenigstens theilweise zum Vorwärmen der durch den Rost eintretenden Verbrennungsluft ausgenützt wird. Auch die Wärmemenge, welche durch den Flugstaub (Gichtstaub ꝛc.) dem Ofen entführt wird, ist nicht sehr bedeutend (wichtiger ist die in geschmolzenen Schlacken gewisser Feuerungsanlagen steckende Wärmemenge.

Die Wärmemengen, welche zur Erwärmung des Mauerwerks ꝛc. der ganzen Feuerungsanlage (oder des Ofens) dient, kommt nur bei periodischem Betriebe (wenn z. B. nur tagsüber oder nicht einmal alle Tage geheizt wird) in Betracht; bei continuirlichem Betriebe ist sie vollkommen bedeutungslos.

Anders stellt sich die Sache allerdings bei Oefen, deren Wände durch Wasser (oder Luft) gekühlt werden. In diesem Falle muß selbst bei ununterbrochenem Betriebe die dem Ofen

ırch entzogene Wärmemenge bestimmt und in Rechnung en werden.

Wichtiger, wenn auch lange nicht so groß, als man früher te, ist der Verlust durch Leitung und Strahlung. Er : ausschließlich von der Construction der Anlage ab und sich durch Anwendung von doppeltem Mauerwerk mit schen befindlichen stagnirenden Luftschichten oder Ausfüllung zwischenraumes mit schlechten Wärmeleitern noch bedeutend iren. Er ist bei Dampfkesselanlagen selten größer als 6%.

III. Capitel.

Gasgeneratoren.

Bei den Gasgeneratoren ist man gerade im Gegensatze en bisher besprochenen Feuerungsanlagen bestrebt, eine llkommene Verbrennung zu erzielen und so möglichst viel ıbare Gase gleichzeitig mit möglichst wenig Stickstoff zu ten.

Ueber die hierbei vorkommenden chemischen Processe wurde im II. Theile gehandelt und dort (p. 197) auch s ein Generatorheizversuch mitgetheilt.

Hier soll noch ein zweiter solcher Heizversuch aufgeführt n, einmal weil dieselben gerade hier complicirter sind als en übrigen Feuerungsanlagen, auch die Anordnungen der ıchsresultate eine andere ist als dort (indem hier besonders Wärmeleistungsfähigkeit" der Generatorgase als eigentlicher seffect der Generatoren" hervorgehoben werden muß), dann zu zeigen, wie man vortheilhaft die Berechnungen zum en Theile auf die Volumenverhältnisse stützt, und endlich arauf hinzuweisen, daß es für die Genauigkeit der Heiz-che wesentlich wünschenswerth erscheint, bei den Heizver-ı nicht ältere Kohlenanalysen zu benützen, sondern das vendete Brennmateriale jedesmal analysiren zu lassen.

Heizversuch.

Der Versuch wurde an zwei Gasgeneratoren angestellt, e mit Ostrauer Nußkohle (2584 *kg*) und Leobner Stück-

kohle (630 *kg*) bedient wurden. Somit betrug der Gesammt-Kohlenverbrauch in der Zeit von 6 Uhr 15 Minuten Morgens bis 3 Uhr 5 Minuten Nachmittags, d. i. in 8 Stunden 50 Minuten 3214 *kg*.

Zur Berechnung der Zusammensetzung der Kohlen wurden die nachfolgenden für den Heizversuch am 13. Mai desselben Jahres von Professor F. Schwackhöfer ausgeführten Analysen zu Grunde gelegt.

	Leobner Kohle	Ostrauer Kohle
Kohlenstoff	60·91 %	75·55 %
Wasserstoff	4·23 „	4·54 „
Stickstoff	0·71 „	0·46 „
Sauerstoff	17·98 „	11·38 „
Wasser, hygroskopisch	9·92 „	2·44 „
Asche	6·25 „	5·63 %
Summe	100·00 %	100·00 %
verbrennlicher Schwefel	0·53 „	0·60 „
Heizeffect direct ermittelt	6013 Cal.	7433 Cal.

Außerdem wurden von beiden Kohlensorten im Neuberger Laboratorium gleich nach Beendigung des Heizversuches die nachfolgenden Bestimmungen ausgeführt:

	Leobner Kohle	Ostrauer Kohle
Nässegehalt	2·64 %	8·38 %
Kokeausbringen (aschenfrei)	45·50 „	61·33 „
Gasgiebigkeit	44·68 „	24·94 „
Aschengehalt	7·18 „	5·35 „
Summe	100·00 %	100·00 %

Aus den vorstehenden Daten berechnet sich die Zusammensetzung der Kohlen am Versuchstage wie folgt:

	Leobner Kohle	Ostrauer Kohle
Kohlenstoff	65·53 %	70·90 %
Wasserstoff	4·55 „	4·26 „
Stickstoff	0·76 „	0·43 „
Sauerstoff	19·34 „	10·68 „
Wasser, hygroskopisches	2·64 „	8·38 „
Asche	7·18 „	5·35 „
Summe	100·00 %	100·00 %
Heizeffect	6524 Cal.	7052 Cal.
verbrennlicher Schwefel	0·61 %	0·57 %

die Zusammensetzung der chargirten Kohle zu:

Kohlenstoff	69·83 %
Wasserstoff	4·33 „
Stickstoff	0·50 „
Sauerstoff	12·38 „
Wasser, hygr.	7·25 „
Asche	5·71 „
Summe	100·00 %
verbrennlicher Schwefel	0·58 „
Heizwerth	6949 Calorien.

An Rostdurchfall erhielt man während des ganzen Ver-
es 753 *kg.* von nachstehender Zusammensetzung:

Kohlenstoff	65·20 %
Asche	29·67 „
Wasser	5·13 „
	100·00 %

Das darin enthaltene Wasser stammt vom Ablöschen des
tdurchfalles nach Beendigung des Versuches, welches er-
te, um ein weiteres Verbrennen des darin enthaltenen
lenstoffes möglichst zu vermeiden.

Die Zusammensetzung der Generatorgase, wie sie die
elnen Gasanalysen ergaben, ist aus nachstehender Tabelle
chtlich:

Zeit der Probenentnahme:	7^h 15 bis 9^h 30 a. m. $2^h 15^m = \frac{9}{4}^h$	11^h 30 a. m. bis 1^h 15 p. m. $1^h 45^m = \frac{7}{4}^h$	1^h 45 bis 3^h 15 p. m. $1^h 30^m = \frac{6}{4}^h$	Mittel
	in Volum-Procenten			
CO_2	5·2	5·4	5·0	5·21
O_2	0·8	0·1	1·0	0·63
CO	23·72	24·83	23·42	23·99
CH_4	0·28	0·17	0·31	0·25
H_2	9·89	12·07	10·08	10·64
N_2	60·11	57·43	60·19	59·28
Summe	100·00	100·00	100·00	100·00

Bei Berechnung des Mittels wurde auf die Zeit, während welcher die Gasproben gesammelt wurden, Rücksicht genommen.

Von der Berechnung der gewichtsprocentischen Zusammensetzung der Generatorgase wurde hier abgesehen, da die weiteren Berechnungen (zur Vereinfachung) so weit thunlich mit Gasvolumen durchgeführt wurden.

Die mittlere Lufttemperatur beim Generator betrug 9·11° C., der relative Feuchtigkeitsgehalt derselben 75·89%. Der Luftdruck wurde im Mittel zu 711·9 *mm* ermittelt.

Die Generatorgase traten aus dem Generator mit einer Durchschnittstemperatur von 282·37° C.

1 m^3 mit Wasserdampf gesättigte Luft von 9·11° C. enthält 9·26 *g* Wasserdampf; somit enthält 1 m^3 der Luft, wie sie in der Versuchszeit zu den Generatoren trat $\frac{9 \cdot 26 \times 75 \cdot 89}{100} =$ $= 7 \cdot 03$ *g* Wasserdampf.

Chemische Vorgänge im Generator:

Zweck der nachfolgenden Rechnungen ist die Aufstellung einer Wärmebilanz, welche — um mit kleineren Zahlen zu thun zu haben, und die Vergleichung mit den früheren Heizversuchen zu erleichtern — auf 100 *kg* gegichtete Kohle bezogen ist.

Hierzu ist nöthig vorerst ein klares Bild über die chemischen Vorgänge im Generator — eine factische chemische Bilanz derselben — zu gewinnen.

Es werden zunächst die oben gegebenen Beobachtungsziffern auf 100 *kg* gegichtete Kohlen umgerechnet werden müssen, woran sich die Aufstellung der chemischen Bilanz anreiht.

Rostdurchfall: Pro 3214 *kg* Kohle wurden 714.37 *kg* trockener Rostdurchfall erhalten, somit pro 100 *kg* Kohle (wenn das vom Ablöschen herrührende Wasser unberücksichtigt gelassen wird) 22·23 *kg* mit:

Kohlenstoff	15·28 *kg*
Asche	6·95 „
Summe	22·23 *kg*

Generatorgase:

100 *kg* Kohle enthalten	69·83 *kg* C.
die entsprechende Menge Rostdurchfall enthält	15·28 „ „
somit enthalten die Generatorgase	54·55 *kg* C.

(da wir von der Theerbildung absehen müssen).

100 Volumtheile der trockenen Generatorgase enthalten nach der bereits oben gegebenen Durchschnitts-Analyse:

Generatorgas:	Volumtheile der Elementarbestandtheile				Volumtheile der näheren Bestandtheile
	C	O	H	N	
CO_2	2·605	5·210	—	—	5·21
O_2	—	0·630	—	—	0·63
CO	11·995	11·995	—	—	23·99
CH_4	0·125	—	0·500	—	0·25
H_2	—	—	10·640	—	10·64
N_2	—	—	—	59·280	59·28
Summe	14·725	17·835	11·140	59·280	100·00

Da nun 1 m^3 hypothetisches Kohlenstoffgas bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand 1·071948 *kg* wiegen würde, geben die obigen 54·55 *kg* vergaster Kohlenstoff offenbar $\frac{54·55}{1·071948}$ $=50·842$ m^3 hypothetisches Kohlenstoffgas. Hieraus berechnet sich nun die Anzahl m^3 trockenes Generatorgas, das von 100 *kg* gegichteter Kohle geliefert wurde, zu 345·277 m^3, und die Zusammensetzung desselben, wie folgt, zu:

$$CO_2 = \frac{5·21 \times 345·277}{100} = 17·990\ m^3$$
$$O_2 = \frac{0·63 \times 345·277}{100} = 2·175\ m^3$$
$$CO = \frac{23·99 \times 345·277}{100} = 82·832\ m^3$$
$$CH_4 = \frac{0·25 \times 345·277}{100} = 0·863\ m^3$$
$$H_2 = \frac{10·64 \times 345·277}{100} = 36·737\ m^3$$
$$N_2 = \frac{59·28 \times 345·277}{100} = 204·680\ m^3$$

Summe = 345·277 m^3

welche sich, wie folgt in ihre Elemente zerlegen lassen:

Zusammensetzung		Elementar-Bestandtheile m^3			
		C	O	H	N
CO_2	17·990	8·995	17·990	—	—
O_2	2·175	—	2·175	—	—
CO	82·832	41·416	41·416	—	—
CH_4	0·863	0·432	—	1·726	—
H_2	36·737	—	—	36·737	—
N_2	204·680	—	—	—	204·680
Summe	345·277	50·843	61·581	38·463	204·680

Von 100 *kg* Kohle werden nach Obigem vergast:

Kohlenstoff .... 54·55 *kg*
Sauerstoff .... 12·38 „
Wasserstoff .... 4·33 „
Stickstoff (etwa 1/5 des Vorhandenen) 0·10 „
Wasser .... 7·25 „

Summe 78·61 *kg*

Verbrennungsluft: Somit stammen 204·680 m^3 Stickstoff des Generatorgases aus der zugetretenen Verbrennungsluft (da der Stickstoff der Kohle nach unserer Annahme als Ammoniak in die Gase geht) und da diese 21 Vol. %

Sauerstoff und 79 Vol. % Stickstoff enthält, mußten überhaupt an (trockener) Verbrennungsluft zugetreten sein

$$\frac{204·680 \times 100}{79} = 259·088\ m^3$$

(bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand gemessen), welche (da 1 m^3 derselben 0·00703 *kg* Wasserdampf enthält) 259·088 × 0·00703 = 1·81 *kg* Wasserdampf mit sich führen.

Somit enthält die zugetretene Verbrennungsluft:

Stickstoff	204·680 m^3
Sauerstoff	54·408 „
	259·088 m^3
und Wasserdampf.....	1·82 *kg*.

Zur Aufstellung der chemischen Bilanz muß nun auf die Gewichtsverhältnisse übergegangen werden, was durch Multiplication der Volumzahlen mit dem Gewicht eines Kubikmeters erreicht wird. Man hat sonach:

Generatorgase:

Kg.	C	O	H	N	Summe
CO_2	8·995 × 1·071948 = 9·64	17·990 × 1·4303 = 25·73	—	—	35·37
O_2	—	2·175 × 1·4303 = 1·11	—	—	1·11
CO	41·416 × 1·071948 = 44·44	41·416 × 1·4303 = 59·24	—	—	103·68
CH_4	0·432 × 1·071948 = 0·47	—	1·726 × 0·0896 = 0·16	—	0·63
H_2	—	—	36·737 × 0·0896 = 3·29	—	3·29
N_2	—	—	—	204·68 × 1·2566 = 257·200	257·20
Summe:	54·55	86.08	3·45	257·20	383·28

Zugetretene Verbrennungsluft:

Stickstoff = 204·680 × 1·2566 = 257·200 *kg*
Sauerstoff = 54·408 × 1·4303 = 77·82 „
Wasserdampf = ... 1·82 „
336·84 *kg*

Der Wasserdampf der Verbrennungsluft enthält:

Sauerstoff .... 1·62 *kg*
Wasserstoff .... 0·20 „
1·82 *kg*

Chemische Bilanz:

Elemente *kg*	Elementar-Zusammensetzung						
	gegichtete Kohle	Rostdurchfall	vergaste Kohle*)	Verbrennungsluft	Summe der beiden Vorigen	Generatorgas	Differenz
C	69·83	15·28	54·55	—	54·55	54·55	—
O	18·84	—	18·84	77·63**)	96·47	86·06	10·41
H	5·14	—	5·14	0·20***)	5·34	3·45	1·89
N	0·50	(0·40)	0·10	257·20	257·30	257·20	0·10****)
Asche	5·71	6·55	—	—	—	—	—

Der Aschengehalt der vergichteten Kohle stellt sich pro 100 *kg* derselben auf 5·71 *kg*, während jener der entsprechenden Rostdurchfall-Menge (nach Abzug des Stickstoffes) 655 *kg* beträgt. Es zeigt sich somit ein Ueberschuß von 6·55 — 5·71 = 0·84 *kg*, welche offenbar von der theilweisen Oxydation des verbrennlichen Schwefels zu Schwefelsäure herrühren müssen.

Ist der nicht flüchtige Antheil des verbrennlichen Schwefels im Rostdurchfalle als Sulfat (wahrscheinlich $Fe\,SO_4$) vorhanden geblieben, so wiegt die im Rostdurchfalle enthaltene Asche (6·55 *kg*) in Bezug auf die Asche der gegichteten Kohle abzüglich des verbrennlichen Schwefels (5·71 — 0·58 = 5·13) um 6·55 — 5·13 = 1·42 *kg* zu viel, welche nach der obigen Annahme, dem Radikale SO_4 (Sulphuryl) entsprechen und somit 0·47 *kg* Schwefel enthalten müssen, so daß in unserem Falle 0·58 — 0·47 = 0·11 *kg* Schwefel in die Gase gegangen wären.

In der vorigen Zusammenstellung ist alles chemisch gebundene und alles hygroskopische Wasser in seine Bestandtheile zerlegt worden.

*) Incl. hygr. Wasser der Kohle.
**) Incl. dem Sauerstoff des Wasserdampfes.
***) Aus dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft.
****) Als Ammoniak vorhanden.

Die chemischen Vorgänge im Generator werden folgende
n.

Im obersten Theile des Generators wird die Kohle ihr
groskopisches Wasser verlieren, sie wird getrocknet werden;
nmt dieselbe in die heißeren, tieferen Partien, so beginnt die
ckene Destillation, als deren Producte Gase, Koke, Theer
d Wasser auftreten werden; ein Theil der gebildeten Koke
rd ober dem Roste verbrannt und liefert die, für vorer-
ihnte Vorgänge nöthige Wärme.

Unmittelbar über dem Roste findet die vollkommene Ver-
ennung des Kohlenstoffes zu Kohlensäure statt; die aufstei-
nde CO_2 wird in den höheren Partien, in Berührung mit
ühender Kohle größtentheils zu CO reducirt werden; ebenso
ßt sich annehmen, daß die Feuchtigkeit der Verbrennungsluft
ter Bildung von CO und freiem Wasserstoff zerlegt wird;
dlich wird ein Theil des Sauerstoffes, wie schon erwähnt,
r Bildung von Sulfaten dienen.

Da die Analyse der Generatorgase pro 100 *kg* Kohle
11 *kg* freien Sauerstoff ausweist, derselbe jedoch weder von
r Verbrennung ober dem Roste, noch von der trockenen
estillation herrühren kann, muß man annehmen, daß derselbe
n in den Generator eingetretener nnd an den Processen
betheiligter Luft stammt.

Es entspricht demselben $1{\cdot}11 \times 3{\cdot}33 = 3{\cdot}70$ *kg* Stickstoff
d 0·33 *kg* Wasserdampf. Somit haben wir an thatsächlich
Wirksamkeit getretener Verbrennungsluft:

Sauerstoff......	77·82 — 1·11 =	76·71 *kg*.	
Stickstoff.......	257·20 — 3·70 =	253·50 „	
Wasserdampf....	1·82 — 0·33 =	1·49 „	{ 1·32 O 0·17 H
	Zusammen	331·70 *kg*	

An Rostdurchfall:

Kohlenstoff..............................	15·28 *kg*
Asche der Kohle (excl. verbrennl. Schwefel)..	5·13 „
In der Asche verbliebener verbrennl. Schwefel.	0·47 „
Zur Asche getretener Sauerstoff (Sulfatbildung).	0·95 „
Stickstoff..............................	0·40 „
	22·23 *kg*



Unter der später zu besprechenden Annahme, daß bei der trockenen Destillation nur CO und keine CO_2 gebildet werde, kommen wir zu folgenden Resultaten:

Der Wasserstoff und Sauerstoff der Kohle, sowie theilweise auch der Stickstoff, gehen in die Gase. Hievon sind nach der Gasanalyse

0·16 *kg* Wasserstoff an
0·47 „ Kohlenstoff

und nach der Annahme, daß 1/5 des Stickstoffgehaltes der Kohle als Ammoniak in die Gase gehe

0·02 *kg* Wasserstoff an
0·10 „ Stickstoff

endlich:

0·01 *kg* Wasserstoff an
0·11 „ Schwefel

gebunden.

Die Generatorgase enthalten nach der Analyse 3·29 *kg* freien Wasserstoff, wovon nach schon oben erwähntem 1·49 : 9 = = 0·17 *kg* durch die Vorgänge ober dem Roste, d. i. durch Zerlegung des Wasserdampfes der Verbrennungsluft geliefert wurden. Es bleiben somit 3·29 — 0·17 = 3·12 *kg* Wasserstoff, welche von der trockenen Destillation stammen.

Der Rest des Wasserstoffes der Kohle, nämlich 5·14 — (0·16 + 0·01 + 0·02 + 3·12) = 5·14 — 3·31 = 1·83 *kg* wird mit 8 × 1·83 = 14·64 *kg* Sauerstoff zu Wasser verbunden sein, während der Rest des Sauerstoffes der Kohle, nämlich 18·84 — 14·64 = 4·20 *kg* nach dem oben Gesagten mit 3·15 *kg* Kohlenstoff CO gegeben haben muß.

Hieraus berechnet sich die gebildete Kokemenge zu:

Asche incl. Schwefel und Stickstoff	6·00 *kg*
Kohlenstoff = 69·83 — (0·47 + 3·15) =	
= 69·83 — 3·62 = ...	66·21 „
	72·21 *kg*

Somit lassen sich die chemischen Vorgänge im Generator in nachfolgender Weise zergliedern:

Vorgänge im oberen Theile des Generators:

100 *kg* vergichteter Kohlen geben:

7·25 *kg*	Wasserdampf
92·75 „	trockene Kohle
100·00 *kg*	

Vorgänge im mittleren Theile des Generators:

(**Trockene Destillation.**)

92·75 *kg* trockene Kohle enthalten		g e b e n:						
	Koke	Generator-Gase:						
		H_2O	CO	CH_4	NH_3	SH_2	H_2
Asche	5·13	—	—	—	—	—	—
Kohlenstoff	69·83	—	3·15	0·47	—	—	—
Stickstoff	0·50	—	—	—	0·10	—	—
Schwefel	0·58	—	—	—	—	0·11	—
hem. geb. H, H	4·33	1·02	—	0·16	0·02	0 01	3·12
Wasser 0	12·38	8·16	4·20	—	—	—	—
Summe	92·75	9·18	7·35	0·63	0·12	0·12	3·12

An den chemischen Vorgängen im Generator unbetheiligte Luft:

(Dieselbe kann wohl theilweise durch Undichtheiten im auerwerk eingetreten sein, doch läßt das Verhältnis zwischen vorhandenen Kohlensäure und dem durch trockene Destilla-n gebildeten CO, nämlich $\frac{CO_2}{CO} = \frac{35·37}{7·35}$, darauf schließen, ß der größte Theil derselben unter dem Roste seinen Zutritt d, aber nicht zur Wirksamkeit gelangte.)

Stickstoff	3·70 *kg*
Sauerstoff	1·11 „
Wasserdampf	0·33 „
Summe	5·14 *kg*

d) Vorgänge ober dem Roste:

Bestandtheile kg		Koke	Luft	Summe	geben:					
					Rostdurchfall	Gase:				In Rostdurchfall u. Generatorgas zu viel Sauerstoff
						CO_2	CO	H	N	
Asche		5·13	—	5·13	5·13	—	—	—	—	—
C		66·21	—	66·21	15·28	9·64	41·29	—	—	—
N		0·40	253·50	253·90	0·40	—	—	—	253·50	—
S		0·47	—	0·47	0·47	—	—	—	—	—
	H	—	0·17	0·17	—	—	—	0·17	—	—
chem. geb. Wasser	H, 0	—	78·03	78·08	0·95	25·73	55·04	—	—	3·69
Summe		72·21	331·70	403·91	22·23	35·37	96·33	0·17	253·50	3·69

Sauerstoffmenge in Generatorgasen und Rostdurchfall .... 95·48 *kg*
Sauerstoffmenge in Kohle und Verbrennungsluft 91·81 „

Sauerstoffüberschuß in Generatorgasen und Rostdurchfall .... 3·67 *kg*.

Hieraus ergibt sich die Zusammensetzung der Generatorgase wie folgt:

Kohlensäure	35·37	*kg*
Kohlenoxyd	103·68	„
Methan	0·63	„
Wasserstoff	3·29	„
Ammoniak	0·12	„
Schwefelwasserstoff	0·12	„
Stickstoff	253·50	„
Unbetheiligte Luft	4·81	„
Wasser	16·76	„
Summe	418·28	*kg*

Die obige Sauerstoffdifferenz von 3·67 *kg* repräsentirt den totalen Versuchsfehler, welcher — bezogen auf die Gesammtgasmenge — 0·87 Gew. % ausmacht. Derselbe läßt sich ebenso, wie bei dem vorigen Heizversuchen motiviren.

Daß übrigens der Gesammtfehler größer als bei dem vorigen Heizversuchen ausfiel, dürfte darin zu suchen sein, daß entweder die Durchschnittsprobe des Rostdurchfalles nicht ganz

richtig war, oder daß die Zusammensetzung der Kohlen nicht ganz mit den zu Grunde gelegten älteren Analysen von F. Schwackhöfer übereinstimmt. Für letztere Ansicht spricht auch die geringe Uebereinstimmung zwischen den hier ermittelten und den Schwackhöfer'schen Aschengehalten.

Wärmevertheilung.

Zur Vereinfachung der Rechnungen werden, soweit sie vorliegen, die Volumzahlen benützt, und wird nur, wo diese fehlen, auf die Gewichtsmengen übergegangen.

I. Wärmeproduction:

1. Durch chemische Processe im Generator erzeugte Wärme:

a) durch Kohlensäure-Bildung:
$17 \cdot 990\ m^3 \times 3007$ Cal. . . . . 54.095·9 Cal.

b) durch Kohlenoxydbildung:
$82 \cdot 832\ m^3 \times 1325 \cdot 5$ Cal: . . . 109.793·8 „

c) durch Methanbildung:
$0 \cdot 863\ m^3 \times 982 \cdot 5$ Cal: . . . . 847·9 „

d) durch Ammoniakbildung:
$\frac{0 \cdot 02\ kg \times 3963}{3} =$ . . . . 26·4 „

e) durch Schwefelwasserstoffbildung:
$\frac{0 \cdot 01\ kg \times 4510}{2} =$ . . . . 22·6 „

f) aus dem Wasserstoffe der Kohle gebildetes Wasser: $1 \cdot 02 \times 34462 =$ 35 151·2 „

Summe . . . . 199 937·8 Cal.

2. durch die Kohle zugeführte Wärme:
$9 \cdot 11^0 \times 0 \cdot 221 \times 100\ (kg) =$ . . . 201·3 „

3. durch die Luft zugeführte Wärme:
$9 \cdot 11 \times 0 \cdot 3075 \times 259 \cdot 088\ (m^3) =$ 725·8 „

4. durch den Wassergehalt der Luft zugeführte Wärme:
$1 \cdot 82 \times [(9 \cdot 11 \times 0 \cdot 481) + 536 \cdot 5] =$ 980·4 „

Gesammte producirte Wärme 201845·3 Cal.

II. Wärmeverluste:

1. Wärmeentgang durch den etwa 500° C. warmen Rostdurchfall:
$500 \times 0 \cdot 221 \times 22 \cdot 23 =$ . . . . 2 456·4 Cal.

2. durch die Generatorgase entführte Wärme:

	(m^3)		
CO_2:	17·980 × 0·4266 =	7·675	
CO:	82·832 × 0·3034 =	25·129	
CH_4:	0·863 × 0·4243 =	0·366	
O_2:	2·175 × 0·3121 =	0·679	
N_2:	204·680 × 0·3066 =	62·745	
H_2:	36·737 × 0·3051 =	11·207	
NH_3:	(kg) 0·12 × 0·508 =	0·061	
H_2S:	0·12 × 0·243 =	0·029	
		107·891 × 282·37° =	30.465·2 Cal.

3. Wärmeentgang durch den Wassergehalt der Gase:
16·76 (kg) × [536·5 + (282·37° × 0·481)] . . 11.268·1 „

4. Durch Wasserzersetzung: 0·17 (kg) × 34462 = 5.858·5 „

Gesammte verlorene Wärme 50.048·2 Cal.

5. Strahlungsverlust und Vergasungswärme der Kohle:
Gesammte producirte Wärme . . . . . . 201.845·3 Cal.
Gesammte verlorene Wärme . . . . 50.048·2 „
Strahlungsverlust und Vergasungswärme der Kohle im Generator: . . . . . . 151.797·1 Cal.

Die Vergasungswärme der Kohle läßt sich bei diesem Heizversuche nicht berechnen, da, wie schon erwähnt, die Zusammensetzung der verwendeten Kohle nicht mehr genau genug mit den benützten älteren Analysen von Schwackhöfer übereinstimmt.

III. Nicht producirte Wärme:

1. Wärmeleistungsfähigkeit der Generatorgase:
CO zu CO_2 = 82·832 (m^3) × 3007 = ... 249.075·8 Cal.
CH_4 zu CO_2 u. H_2O = 0·63 (kg) × 13063 = 8.229·7 „
H_2 zu H_2O = 3·29 (kg) × 34462 = ... 113.380·0 „
H_2S zu H_2O u. SO_2 = $\left[0{\cdot}01 \times 34462 + 0{\cdot}11 \times 2500 - \frac{0{\cdot}01 \times 4510}{2}\right]$ = 597·1 „
371.282·6 Cal.

2. Durch unverbrannte Kohle des Rostdurchfalles verlorene Wärme:
15·28 (kg) × 8080 = ... 122.362·4 „

Gesammte nicht producirte Wärme = 493 645·0 Cal.

Wärmeproduction und nicht-producirte Wärme	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
I. Wärmeproduction				
1. Durch chemische Processe	199937·8	28·74		
2. Durch Kohle und Luft zugeführt . .	1907·5	0·28	201845·3	29·02
III. Nichtproducirte Wärme				
1. Durch unverbrannte Kohle des Rostdurchfalles	122362·4	17·60		
2. Wärmeleistungsfähigkeit der Gase .	371282·6	53·38	493645·0	70·98
Total:	.	.	695490·3	100·00

Wärmeverluste und nicht producirte Wärme	Einzeln Calorien	Einzeln %	Zusammen Calorien	Zusammen %
II. Wärmeverluste				
1. Wärmeentgang d. den Rostdurchfall .	2456·4	0·35		
2. Durch die Generatorgase entführte Wärme	30465·2	4·38		
3. Wärmeentgang d. den Wassergehalt der Gase.	11268·1	1·62		
4. Durch Wasserzersetzung	5858·5	0·84		
5. Strahlungsverlust und Vergasungswärme der Kohle .	151797·1	21·33	201845·3	29·02
III. Nichtproducirte Wärme				
Durch unverbrannte Kohle des Rostdurchfalles	.	.	122362·4	17·60
			324207·7	46·62
Wärmegewinn . . .	.	.	371282·6	58·38
Total:	.	.	695490·3	100·00

Eine einfache Überlegung zeigt, daß die hauptsächlichsten Quellen von Wärmeverlusten die folgenden sind:

1. Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung: dieselben betragen bei
dem Versuche auf p 197 .... 94890·7 Calorien
„ vorstehenden Versuche (allerdings incl. der Vergasungswärme von rund 50000 Calorien) .... 151797·1 „
wogegen jedoch nicht viel zu machen ist.

2. Verluste durch unverbrannte Kohle im Rostdurchfalle, welche:
beim ersten Beispiele .... 15·67 *kg* C.
„ zweiten „ .... 15·28 „ C.
betragen. Wären dieselben zu Kohlenoxyd verbrannt worden, so wäre die Wärme im Generator gestiegen
beim ersten Versuche um .... 751·9 Cal.
„ zweiten „ „ .... 787·4 Cal.

Gleichzeitig hätten die Generatorgase mehr enthalten
beim ersten Versuche um .... 36·56 *kg* CO
„ zweiten „ „ .... 35·95 „ „
und die Wärmeleistungsfähigkeit derselben bei der vollständigen Verbrennung hätte mehr betragen
bei Versuch I um .... 87842·7 Calorien
„ „ II „ .... 86377·1 „

Um derartige Verluste zu vermeiden, müßten die Kohlenstücke dadurch der Einwirkung des Sauerstoffes zugänglich erhalten bleiben, daß die sie einhüllende Aschenschichte durch Verschlackung derselben entfernt wird, und überdies müßte die Bildung von todten Räumen, in welchen die Kohle unausgenützt liegen bleibt, indem die Verbrennungsluft dieselben nicht oder doch nur sehr unvollkommen durchströmt (und die am unteren Theile von Treppenrosten leicht entstehen können) möglichst vermieden werden. Allerdings kann nur eine specielle Calculation entscheiden, ob dies oder eine anderweitige Verwendung des Rostdurchfalles rentabler ist.

3. Verluste durch Kohlensäurebildung im Generator.

Die durch trockene Destillation gebildeten Gase enthielten pro 100 *kg* Kohle

Versuche I .... 13·23 *kg* Kohlenoxyd
" II .... 7·35 " "
ıhrend die Generatorgase gleichzeitig an Kohlensäure ent-
:lten:

m 1. Versuch .... 24·08 *kg*
2. " .... 35·37 "

Durch die trockene Destillation wird nun allerdings nicht
ein CO, sondern auch CO_2 gebildet, doch beträgt das Volum
: letzteren selten mehr als die Hälfte des Kohlenoxydvolums.
mmt man übrigens sogar an, daß dem Volumen nach bei
: trockenen Destillation ebenso viel Kohlensäure als Kohlen-
ɪd gebildet worden sei, so bleiben noch immer

Versuch I .... ca 16·0 *kg* CO_2
" II .... " 31·7 " CO_2

lche durch Verbrennung ober dem Roste entstanden und
iterhin nicht mehr zu Kohlenoxyd reducirt wurden. Wäre
ß der Fall gewesen, so wäre der Kohlenoxydgehalt der
ıſe gewachsen

Versuch I um .... 22·0 *kg*
" II " .... 43·6 *kg*

d hierdurch die Wärmeproductionsfähigkeit der Generator-
ſe gestiegen

m 1. Versuche um .... 52859·4 Calorien
2. " " .... 104757·7 "

Im Zusammenhange mit diesem Kohlensäureüberschusse
den Generatorgasen steht das Auftreten von freiem Sauer-
ffe — also von Luft, welche sich an den chemischen Vor-
ıgen im Generator gar nicht betheiligte — in denselben,
: folgende Zahlen zeigen

rsuch I: .... 3·91 *kg* unbetheiligte trockene Luft
" II: .... 4·81 " " " "

Diese beiden Erscheinungen können nämlich offenbar nur
ın auftreten, wenn die Schütthöhe der Kohlen im Generator
nieder oder die Zwischenräume zwischen den einzelnen
hlenstücken zu groß sind, so daß Luft oder die unmittelbar
:r dem Roste gebildete Kohlensäure die Kohlenschicht passiren
:nen, ohne chemisch auf dieselbe einzuwirken.

IV. Capitel.

Flammöfen.

Als Beispiel für die Anstellung von Heizversuchen bei Flammöfen wählen wir einen möglichst complicirten Fall, nämlich einen Heizversuch bei einem Siemens-Martin-Ofen, welcher mit den Gasen beheizt wurde, auf welche sich der Generator-Heizversuch des vorigen Capitels bezieht.

a) Allgemeines

Der Einsatz betrug 46·85 q; das Ausbringen 45·80 q; an Schlacke wurden 580 *kg* erhalten.

Pro 100 *kg* im Generator chargirter Kohle wurden daher
α) vergichtet:

$$\frac{4685 \times 100}{3214} = 145{\cdot}78 \ kg$$

β) gewonnen:

$$\text{an Stahl: } \frac{4580 \times 100}{3214} = 142{\cdot}50 \ kg$$

$$\text{an Schlacke: } \frac{580 \times 100}{3214} = 18{\cdot}04 \ \text{"}$$

Die Zusammensetzung der Essengasse war folgende:

Zusammensetzung	7h — m bis 7h 15 m a.m ¼ h	7 h 45 m bis 10 h — m a.m ¼ h	11 h — m a.m bis 1 h — p.m ¼ h	1 h 30 m bis 3 h — m p.m ¼ h	Mittel
CO_2	12·3	12·4	11·4	11·3	11·78
O_2	5·3	5·1	6·1	6·0	5·67
CO	—	—	—	—	—
N_2	82·4	82·5	82·5	82·7	82·55
Sma.	100·0	100·0	100·0	100·0	100·00

welche sich wie folgt in ihre Elementarbestandtheile zerlegen:

Essengase	Kohlenstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Summa
ohlensäure	5·89	11·78	—	11·78
auerstoff	—	5·67	—	5·67
tickstoff	—	—	82·55	82·55
Summe	5·89	17·45	82·55	100·00

Der Einsatz pro 100 *kg* Kohlen (145·78 *kg*) enthielt:

Kohlenstoff .... 1·98 *kg*
Silicium ...... 0·91 „
Mangan ...... 3·00 „

hieraus erzeugte Stahl (142·50 *kg*) enthielt:

Kohlenstoff .... 0·52 *kg*
Silicium ...... 0·34 „
Mangan ...... 1·05 „

erschwanden somit aus dem Einsatze:

Kohlenstoff .... 1·46 *kg* }
Silicium ...... 0·57 „ } 3·98 *kg*
Mangan ...... 1·95 „ }

In die Essengase gingen pro 100 *kg* en aus der Beschickung 1.46 *kg*, oder, weil ³ hypothetisches Kohlenstoffgas (bei 0° C. 760 *mm* Barometerstand), 1·071948 *kg* en,

1·46 : 1·071948 = 1·362 m^3 C

Generatorgase liefern (nach den vorigen Capiteln) 50·843 m^3 C

Zusammen .... 52·205 „ „

us sich die Menge der Bestandtheile des trockenen Essen- pro 100 *kg* gegichteter Kohle ergibt zu:

Essengase	Kohlenstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Summa
	Kubikmeter			
Kohlensäure	52·21	104·41	—	104·41
Sauerstoff	—	50·25	—	50·25
Stickstoff	—	—	713·67	713 67
Summe	52·21	154·66	713·67	868·33

	C	O	H	N
	Kubikmeter			
Die Generatrogase brachten mit	50·84	61·58	38·46	204·68
Die Essengase enthalten	52·20	154·66	—	713·67
Rest	1·36	93·08	—38·46	508·99
benöthigte Verbrennungsluft (trocken)	—	135·30	—	508·99
Rest	1·36	—42·22	—38·46	—
gebildetes Wasser	—	19·23	38·46	—
Rest	1·36	—22·99	—	—
Die zu verschlackenden Silicium-, Eisen- und Mangan-Mengen benöthigen: $\frac{8}{7} \times 0·57 = 0·65$ *kg* O; $\frac{2}{7} \times 1·95 = 0·56$ „; $\frac{2}{9} \times 5·43 = 1·21$ „; zusammen 2·42 „ oder 2·42 × 1·4303 =	—	3·46		
Rest	1·36	—19·53	—	—
Aus dem Einsatze entstand noch an Kohlensäure	1·36	2·72	—	—
Rest	—	—16.81	—	—

Die 18·04 *kg* Schlacke enthalten:

SiO_2	9 74 *kg*,	wovon 1·22 *kg* aus dem Einsatze stammen
Mn O	2·51 „ ,	„ 2·51 „ „ „ „ „
Fe O	5·43 „ ,	„ 5·43 „ „ „ „ „
Ca O, 2c	0·36 „ ,	„ — „ „ „ „ „
	18·04 *kg*	

Von dem obigen Sauerstoffmanco von ..... 16·81 m^3
sind noch in Abzug zu bringen:
zur Verbrennung des Schwefelwasserstoffes
0·11 + 0·08 = 0·19 *kg*
zur Verbrennung des Wasserstoffes im
dissociirten Ammoniak .... 0·16 „
0·35 *kg*
oder 0·35 : 1·4303 .... 0·25 m^3
Rest .... 16·56 m^3)
sowie der Sauerstoffüberschuß in den Generatorgasen von
3·69 : 1·4303 = ... 2·58 m^3
so daß sich der Sauerstoffabgang in den Gasen auf 13·98 m^3
reducirt.

Dieses Manco rührt wahrscheinlich wenigstens theilweise daher, daß die Luft im Hüttenraume weniger als 21 Volum % Sauerstoff enthält. Zieht man diese 13·98 m^3 von den oben gegebenen 128·30 m^3 Sauerstoff ab, so enthielte die Luft des Hüttenraumes:

114·32 m^3 Sauerstoff und
508·99 „ Stickstoff
zusammen 623·31 m^3

Die volumprocentische Zusammensetzung derselben würde sonach sein:

18·34 Vol. % Sauerstoff und
81·66 „ „ Stickstoff
100·00

Berechnung des Wassergehaltes der Essengase:

Nach den Beobachtungen hatte die Verbrennungsluft im Mittel eine Temperatur von 12·3° R. = 15·4° C. und einen Feuchtigkeitsgehalt von 56·5 %.

Bei 15·4° C. enthält 1 m^3 mit Wasserdampf gesättigter Luft $13{\cdot}0 + \frac{4}{10} \times 0{\cdot}7 = 13{\cdot}28$ Gramme Wasserdampf also während des Versuches $\frac{13{\cdot}28 \times 56{\cdot}5}{100} = 7{\cdot}50$ Gramme Wasserdampf.

Somit enthält die Verbrennungsluft

$$\frac{644{\cdot}29 \times 7{\cdot}5}{1000} = 4{\cdot}83 \; kg \text{ Wasserdampf}$$

Die Generatorgase brachten mit .... 16·76 „ „
durch Verbrennung der Generatorgase
entstehen:

$9\,(0{\cdot}17 + 0{\cdot}16 + 0{\cdot}02 + 0{\cdot}01 + 3{\cdot}12) =$
$= 9 \times 3{\cdot}48 =$ .... 31·32 „ „

Wassergehalt der Essengase......... 52·91 *kg* Wasserdampf.

Mittlere Temperatur der Generatorgase beim Eintritt in die Regeneratoren = 164·16° C.

Mittlere Temperatur der Essengase = 360° C.

Schreiten wir nun zur Zusammenstellung aller oben berechneten Daten, so erhalten wir nach Umrechnung der Volumzahlen in Kilogramme die nachfolgende

Chemische Bilanz des Siemens-Martinofens.

Stoffe in *kg*	In den Ofen wurden eingebracht				Von der Zustellung wurden verschlackt	Summe	Dem Ofen wurden entnommen				Differenz
	Generator-Gas	Verbrennungsluft	Einsatz	Summe			Essengase	Stahl	Schlacke	Summe	
Kohlenstoff	54·55	—	1·98	56·53	—	56·53	55·96 [4])	0·61	—	56·57	—0·04
Sauerstoff	86·08	193·52 [1])	—	279·60	—	279·60	218·18 [5])	—	2·42	220·60	+59·00
Wasserstoff	3·46	—	—	3·46	—	3·46	—	—	—	—	+ 3·46
Stickstoff	257·20	639·60 [2])	—	896·80	—	896·80	896·80 [6])	—	—	896·80	—
Ammoniak	0·12	—	—	0·12	—	0·12	0·12	—	—	0·12	—
Eisen	—	—	139·89 [3])	139·89	—	139·89	—	140·50	4·22	144·72	—4·83 [7])
Mangan	—	—	3·00	3·00	—	3·00	—	1·05	1·95	3·00	—
Silicium	—	—	0·91	0·91	—	0·91	—	0·34	0·57	0·91	—
Kieselsäure	—	—	—	—	8·52	8·52	—	—	8·52	8·52	—
Kalk, Thonerde 2c.	—	—	—	—	0·36	0·36	—	—	0·36	0·36	—
Wasser	16·76	4·83	—	21·59	—	21·59	52·91	—	—	52·91	—31·32
Schwefel	0·11	—	—	0·11	—	0·11	0·11	—	—	0·11	—
Summe	418·28	837·95	145·78	1402·01	8·88	1410·89	1224·08	142·50	18·04	1384·62	26·27 [8])

[1]) 135·30 × 1·4303.

[2]) 508·99 × 1·2566.

[3]) Unter der Annahme, daß der Einsatz nur aus Eisen, Kohlenstoff, Silicium und Mangan besteht.

[4]) 52·21 × 1·071948.

[5]) 154·66 × 1·4303.

[6]) 713·67 × 1·2566.

[7]) Die Differenz rührt von Ungenauigkeiten im Einwägen des Einsatzes und der Erzeugung her.

[8]) Dieser Fehler reducirt sich noch weiter, da ja die ausgewiesenen 3·46 *kg* Wasserstoff mit 8 × 3·46 = = 27·68 *kg* Sauerstoff zu 31·14 *kg* Wasser verbunden sein müssen, auf den Gesammtfehler von 26·27 — 27·68 = —1·41 *kg* oder 0·099 % der totalen in Betracht kommenden Materialmengen.

Berechnung der Wärmevertheilung im Siemens-Martinofen

α) Wärmeproduction.

1. Von außen zugeführten Wärme:

a) von den Generatorgasen durch deren Temperatur zugeführte Wärme:

	(m^3)		
CO_2:	17·990	× 0·4266 =	7·675
CO:	82·832	× 0·3034 =	25·129
CH_4:	0·863	× 0·4243 =	0·366
O_2:	2·175	× 0·3121 =	0·679
N_2:	204·680	× 0·3066 =	62·745
H_2:	36·737	× 0·3051 =	11·207
	(kg)		
NH_3:	0·12	× 0·508 =	0·061
H_2S:	0·12	× 0·243 =	0·029

107·891 × 164·16 = 19034·2 Cal.

b) Von der Verbrennungsluft durch deren Temperatur zugeführte Wärme:

833·12 × 0·238 × 15·4 = 3053·5

Wassergehalt derselben:

4·83 × [536·5 + 15·4 × 0·481] = ... 2627·1 5 680·6 „

c) Durch den Einsatz mitgebrachte Wärme 10 676·6 „

35 391·4 Cal.

2. Durch die vollständige Verbrennung der Generatorgase producirte Wärme (nach der Wärmebilanz des Gasgenerators) .... 371 282·6 „

3. Durch Oxydation eines Theiles des Einsatzes gebildete Wärmemengen:

	(kg)	(Cal)		
C:	............1·27 ×	8080 =	10261·60	
Si:	............0·57 ×	7830 =	2463·10	
Mn:	............1·95 ×	1693 =	3301·35	
Fe:	............4·22 ×	1258 =	5308·76	21 334·8 „

Gesammte Wärmeproduction .... 428 008·8 Cal.

β. Wärmeentgang:

1. Durch die Temperatur der Essengase entführte Wärme:

	m^3		spec. W.		W. Cap.		
CO_2	104·41	×	0·4266	=	44·541		
O_2	50·25	×	0·3121	=	15·683		
N_2	713·67	×	0·3066	=	218·821		
					279·045 × 360° =	100 456·2	Cal.

52·91 [536·5 + 360 × 0·481] = ... 37 550·2 „

138 006·4 Cal.

Durch Stahl und Schlacke dem Ofen entzogene Wärme:

142·50 × 312 = 44 460·0 Cal.
18·04 × 560 = 10 102·4 „ .... 54 562·4 „

Summe 192 568·8 Cal.

Daher:

4. Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung:

428 008·8 — 192 568·8 = ... 235 440·0 Cal.

Wärmebilanz.

I. Wärmeproduction	Einzeln		Zusammen		II. Wärmeverwendung	Einzeln		Zusammen	
	Cal.	%	Cal	%		Cal.	%	Cal.	%
1. Von Außen zugeführte Wärme: a) Von den Generatorgasen durch deren Temperatur mitgeführte Wärme	19034·2	4·44			1. Durch die Temperatur der Essengasse entführte Wärme			138006·4	32·24
b) Von der Verbrennungsluft durch deren Temperatur mitgeführte Wärme	5680·6	1·34			2. In Folge unvollständiger Verbrennung der Generatorgase nicht producirte Wärme			—	—
c) Durch den Einsatz mitgebrachte Wärme	10676·6	2·49	35391·4	8·27	3. Durch Stahl und Schlacke dem Ofen entzogene Wärme			54562·4	12·75
2. Durch die vollständige Verbrennung der Generatorgase producirte Wärme			371282·6	86·74	4. Wärme-Verluste durch Leitung und Strahlung			235440·0	55·01
3. durch Oxydation von Bestandtheilen des Einsatzes gelieferte Wärme			21334·8	4·99					
Gesammte Wärmeproduction			428008·8	100·00	Totale Wärmeverwendung			428008·0	100·00

Zur Vervollständigung des vorstehenden Heizversuches
ge noch die Berechnung des Wärmeverlustes in der Gas-
ung vom Generator zum Siemens-Martinofen mitgetheilt
rden:

Gasmenge in *kg* = 418·28

mperatur der Gase beim Austritt aus dem
Generator. . . . . = 282·37° C.
nperatur der Gase beim Siemens-Martin-
)fen . . . . = 164·16° C.
nperaturverlust . . . . = 118·21° C.
irmecapacität der Gase × Temperaturverlust der trockenen
Gase in der Gasleitung
107·891 × 118·21 = 12753·8 Cal.
irmeentgang durch den Wassergehalt der
Gase:
16·76 [536·5 + 118·21 × 0·481] = 9945·3 „
Total = 22699·1 Cal.

Bezüglich des Einflusses, welchen Siemens' Princip der
ien Flammenführung auf die Wärmevertheilung bei der-
igen Oefen ausübt, muß auf H. v. Jüptner und Fr.
ldt: „chemisch-calorische Studien über Generatoren und
rtinöfen" verwiesen werden, welche auch eine Reihe hierher
öriger Heizversuche im Detail aufgeführt enthalten.

V. Capitel.

Schachtöfen.

Hier sind zwei Kategorien von Schachtöfen principiell zu
terscheiden: Schachtöfen, bei welchen das Brennmaterial re-
irende chemische Wirkungen auf die übrige Beschickung aus-
en soll, und solche, wo dies nicht der Fall ist. Während
n bei letzteren bestrebt ist, möglichst nur CO_2 und wenig CO
erhalten, geht bei Ersteren das Bestreben dahin gerade
gekehrt über den Formen möglichst nur CO zu erzeugen,
lches — reducirend wirkend — sich zu CO_2 oxydirt, eine
hmalige Reduction der so gebildeten CO_2 unter C-Auf-
hme jedoch zu vermeiden.

Wir führen im Folgenden ein Beispiel für einen Heizversuch bei einem Hochofen — die Aufstellung einer sogenannten „Hochofenbilanz“ als den complicirtesten hierher gehörigen Fall an:

Hochofen-Bilanz.*)

A. Versuchs-Daten:

In der Untersuchungswoche wurden vergichtet: Erz 2496 *q*, Wascheisen 60 *q*, Kalkstein 261 *q*, Holzkohle 1064·8 *q*; gewonnen: Roheisen 1146 *q*, Schlacke 646 *q*, Gichtstaub (trocken) 32·75 *q*, Wascheisen 60 *q*. Windtemperatur (im Mittel) = 350° *C*. Windpressung (im Mittel) gleich 60 *mm* Wassersäule. Düsenweite = 55 *mm*. Temperatur der Gichtgase (Mittel) = 127° *C*. Feuchtigkeitsgehalt des Windes (im Mittel) = 0·87 Gew.-Proc. Lufttemperatur (im Mittel) = 17° *C*. Barometerstand (im Mittel) = 710 *mm*.

Oben angeführte Materialien hatten folgende Zusammensetzung:

Bestandtheile	Erz.	Kalkstein.	Schlacke.	Gichtstaub.	Holzkohle.
Kali	—	—	—	0·85 (Kali und Natron)	0·10
Natron . . .	—	—	—		0·06
Kalk	0·92	54·08	26·25	6·35	0·79
Magnesia . .	4·72	0·60	16·07	3·39	0·17
Eisenoxydul .	20·27	—	5·56	16·59	—
Eisenoxyd . .	41·18	—	—	40·50	0,01
Thonerde . .	2·11	0·16	7·07	2·95	—
Manganoxyduloxyd	2·80	—	3·89	2·98	—
Kupferoxyd. .	0·076	—	0·13	0·06	—
Kieselsäure . . .	12·85	0·44	39·99	13·75	0·47
Schwefelsäure. .	0·288	0·03	1·04	0·30	0·03
Phosphorsäure .	0·228	0·03	0·007	0·072	0·05
Kohlensäure . .	2·32	43·15	—	6·79	0·63
Wasser	12·50	1·58	—	—	10·25
Kohlenstoff. . .	—	—	—	4·75	86·25
Stickstoff . . .	—	—	—	—	0 52
disp. Wasserstoff	—	—	—	—	1·01
Summe	100·062	100 07	100·007	99·872	100·34

*) Chemiker-Zeitung 1885, p. 888.

	Roh- (u. Wasch-) Eisen		
Eisen	91·761	Proc.	
Kohlenstoff, gebunden. . .	0·892	„	3·692
Graphit	2·800	„	
Silicium	1·800	„	
Schwefel	0 018	„	
Phosphor	0·042	„	
Mangan	2·650	„	
Kupfer.	0·032	„	
	100·000	Proc.	

Durchschnittliche Zusammensetzung der Gichtgase:

CO_2	8·5	Vol.-Proc.	× 44	Mol.-Gew.	= 374·0	Gew.-Th.
O_2	0·4	„ „	× 32	„ „	= 12·8	„ „
CO	28·1	„ „	× 28	„ „	= 786·8	„ „
CH_4	0·8	„ „	× 16	„ „	= 12·8	„ „
H_2	7·1	„ „	× 2	„ „	= 14·2	„ „
N_2	55·1	„ „	× 28	„ „	=1542·8	„ „
	100·0	Vol.-Proc.			2743 4	Gew.-Th.

B. Umrechnung auf 100 M.-Ctr. Roheisen.

Auf 100 q erzeugtes Roheisen wurden vergichtet:

$$\text{Erz} = \frac{100 \times 2496}{1146} = 216{\cdot}18\ q$$

$$\text{Kalkstein} = \frac{100 \times 261}{1146} = 22.77\ q$$

$$\text{Kohle} = \frac{100 \times 1074{\cdot}8}{1146} = 93{\cdot}78\ q$$

$$\text{Wascheisen} = \frac{100 \times 60}{1146} = 5{\cdot}23\ q$$

337·96 q.

Auf 100 q erzeugtes Roheisen wurden gewonnen:

Roheisen $= 100{\cdot}00\ q$

Wascheisen $= \frac{100 \times 60}{1146} = 5{\cdot}23\ q$

Schlacke $= \frac{100 \times 646}{1146} = 56{\cdot}40\ q$

Gichtstaub $= \frac{100 \times 32{\cdot}75}{1146} = 2{\cdot}85\ q$

$164{\cdot}48\ q$

Mithin sind pro 100 q erzeugten Roheisens aus der Beschickung in die Gichtgase eingetreten $337{\cdot}96 - 164{\cdot}48 = 173{\cdot}48\ q$.

Pro 100 q erzeugten Roheisens wurden (nach Abzug des Wascheisens) vergichtet:

Bestandtheile.	Erz. q	Kalkstein. q	Holzkohle. q	Summe. q
Kali	—	—	0·097	0·097
Natron	—	—	0·056	0·056
Kalk	1·981	12·314	0·739	15·034
Magnesia	10·198	0·137	0·158	10·443
Eisenoxydul	43·765	—	—	43·765
Eisenoxyd	88·925	—	0·004	88·929
Thonerde	4·562	0·036	—	4·598
Maganoxyduloxyd	6·046	—	—	6·046
Kupferoxyd	0·124	—	—	0·124
Kieselsäure	27·677	0·100	0·070	27·847
Schwefelsäure	0·623	0·007	0·026	0·656
Phosphorsäure	0·061	0·007	0·049	0·117
Kohlensäure	5·010	9·824	0·626	15·471
Wasser	26·984	0·360	0·581	36·925
Kohlenstoff	—	—	80·624	80·624
Stickstoff	—	—	0·487	0·487
disponibler Wasserstoff	—	—	0·947	0·947
Summe	215·956	22·786	93·474	332·216
Hierzu Wascheisen wie oben				5·230
Summe				337·446

Gewonnen wurden:	Roheisen . . .	100·000 q
	Wascheisen	5·230 q
	Summe	105·230 q
Hiervon ab das aufgegichtete	Wascheisen	5·230 q
Bleibt erzeugtes Roheisen		100·000 q
Welches enthält:	Eisen	91·761 q
	Kohlenstoff . . .	3·692 q
	Silicium	1·800 q
	Schwefel	0·018 q
	Phosphor . . .	0·042 q
	Mangan	2·650 q
	Kupfer	0·037 q
		100·000 q

ßerdem wurden (pro 100 q erzeugtem Roheisen) gewonnen:

Bestandtheile.	Schlacke. q	Gichtstaub. q	Summe. q
li	—	0·024	0·024
tron	—		
lk	14·801	0·181	14·982
gnesia	9·061	0·112	9·173
enoxydul	3·121	0·472	3·593
enoxyd	—	0·154	1·151
onerde	3·986	0·084	1·070
nganoxyduloxyd .	2·193[1])	0·090	2·283
pferoxyd	0·063	0·002	0·075
selsäure	22·547	0·391	22·938
hwefelsäure . . .	0·586[2])	0·009	0·595
osphorsäure . . .	0·004	0·002	0·006
hlensäure	—	0·194	0·194
hlenstoff	—	0·135	0·135
Summe	56·372	2·850	59·222
ierzu das producirte Roh- und Wascheisen			105·230
		Summe	164·452

[1]) Als Oxydul vorhanden, daher gehören hierzu 0,164 q Sauerstoff, Mn_3O_4 zu geben.

[2]) Theilweise als Schwefel (im Schwefelcalcium) vorhanden.

C. Berechnung der Zusammensetzung der Gichtgase.

Bestandtheile.	Pro 100 q erzeugtem Roheisen vergichtet M.-Ctr.[1]	Davon erscheinen in Schlacke u. Gichtstaub M.-Ctr.	Verbleiben f. Roheisen und Gichtgase M.-Ctr.
Kali	0.097	0·024[2])	0·097
Natron	0.056		0·032
Kalk	15.034	14·982	0·052
Magnesia	10.493	9·173	1·320
Eisenoxydul	43.765	3·593	40·172
Eisenoxyd	88.929	1·154	87·775
Thonerde	4.598	4·070	0·528
Manganoxyduloxyd	6·046	2·283	3·723[3])
Kupferoxyd	0·124	0·075	0·049
Kieselsäure	27·847	22·938	4·909
Schwefelsäure	0·656	0·595	0 061[3])
Phosphorsäure	0·117	0·006	0·111
Kohlensäure	15·471	0·194	15·277
Wasser	36·925	—	36·925
Kohlenstoff	80·624	0·135	80·489
Stickstoff	0·487	—	0·487
disp. Wasserstoff	0·947	—	0·947
Summe	332·216	59·222	272·994

Von dem gebildeten Roheisen waren in der Beschickung verbunden:	mit Sauerstoff q	zu q	
61·443 q } 91·761 q Eisen	26.332	87·775	Fe_2O_3
30·318 q	8·663	38·981	FeO
3·692 q Kohlenstoff	—	3·692	C
1·800 q Silicium	2·057	3·857	SiO_2
0·016 q Schwefel	0·027	0·045	SO_3
0·042 q Phosphor	0·054	0·096	P_2O_5
2·650 q Mangan	1·028	3·678	Mn_3O_4
0·037 q Kupfer	0 009	0·046	CuO
99·998 q	38·170	138·170	

[1]) Exclusive Wascheisen.

[2]) Diese Zahl wird im Folgenden, ihrer Kleinheit wegen, einfach als Natron berechnet.

[3]) Siehe Anmerkungen bei der vorigen Tabelle.

Zieht man dies von obigem Reste ab, so bleibt

Bestandtheile.	Rest aus der vorigen Tabelle.	Hiervon entfallen auf das Roheisen.	die Gichtgase.
Kali	0·097	--	0·097
Natron	0·032	—	0·032
Kalk	0·052	—	0·052
Magnesia	1·320	—	1·320
Eisenoxydul	40·172	38·981	1·191
Eisenoxyd	87·775	87·775	—
Thonerde	0·528	—	0·528
Manganoxyduloxyd .	3·733	3·678	0·085[1])
Kupferoxyd	0·049	0·046	0·003
Kieselsäure	4·909	3·857	1·052
Schwefelsäure . . .	0·061	0·045	0·016[2])
Phosphorsäure . . .	0·111	0·096	0·015
Kohlensäure	15·277	—	15·277
Wasser	36·935	—	36·925
Kohlenstoff	80·489	3·692	76·797
Stickstoff	0·487	—	0·487
disponibler Wasserstoff	0·947	—	0·947
Summe	272·994	138·170	134·824

Bedenkt man, dass es sehr schwer ist, die Menge des chtstaubes, ja selbst der erzeugten Schlacken genau zu be- nmen, sowie genaue Durchschnittsproben zur Analyse zu)alten, so ist diese Uebereinstimmung sehr befriedigend.

In 100 *l* der Gichtgase wurden 0·0287 *g* Cyan gefun- n: es entfallen daher auf 100 *q* erzeugtes Roheisen 0,143 *q*)ankalium, worin enthalten sind:

Kalium	0·088 *q*
Kohlenstoff	0·033 *q*
Stickstoff	0·033 *q*
Summe	0·154 *q*

Daher kommen aus dem Aetzkali (von der Cyankalium- ldung) 0·022 q Sauerstoff in die Gichtgase.

[1]) Sollte nach dem früheren 0,164 Sauerstoff sein.

[2]) Ist Sauerstoff, da ein Theil des Schwefels als Schwefelcalcium der Schlacke vorhanden ist.

Kohlenstoff d. Gichtgase
$= 76{\cdot}797 - 0{\cdot}033 = 76{\cdot}764\ q$ aus der Kohle
$4{\cdot}166\ q$ „ CO_2
$80{\cdot}930\ q$

Die Elementarzusammensetzung der Gichtgase berechnet sich aus deren volumprocentischen Zusammensetzung wie folgt:

Volum-Proc.	enthalten	Kohlenstoff.	Sauerstoff.	Wasserstoff.	Stickst.
		Volumtheile			
CO_2	8·5	4·25	8·50	—	—
O_2	0·4	—	0·40	—	—
CO	28·1	14·05	14·05	—	—
CH_4	0·8	0·40	—	1·60	—
H_2	7·1	—	—	7·10	—
N_2	55·1	—	—	—	55·1
	100·0	18·70	22·95	8·70	55·1

Hieraus berechnet sich die Elementarzusammensetzung der Gichtgase nach Gewichtstheilen in nachstehender Weise:

	Vol.-Proc.	×	Molek.-Gew.	=	Gewichtstheile
Kohlenstoff	18·70	×	24	=	448·8
Sauerstoff	22·95	×	32	=	734·5
Wasserstoff	8·70	×	2	=	17·4
Stickstoff	55·10	×	28	=	1542·8
	105·45				2743·5

Hieraus und aus obiger Zahl für den Kohlenstoffgehalt der Gichtgase berechnet sich die Menge an Elementarbestandtheilen der Gase pro 100 q RoheisenErzeugung:

Kohlenstoff in den Gichtgasen wie oben $= 80{\cdot}930\ q$

Sauerstoff „ „ „ $\frac{734{\cdot}5 \times 80{\cdot}930}{448{\cdot}8} = 144{\cdot}125\ q$

Wasserstoff „ „ „ $\frac{17{\cdot}4 \times 80{\cdot}930}{448{\cdot}8} = 3{\cdot}316\ q$

Stickstoff „ „ „ $\frac{1542{\cdot}8 \times 80{\cdot}930}{448{\cdot}8} = 277{\cdot}980\ q$

Summe $506{\cdot}351\ q$

Hiervon stammen aus der Gichtung:

Kohlenstoff, wie oben	80·930 q
Sauerstoff von der CyK-Bildung .	0·022 q
„ „ „ Roheisenbildung	38·170 q
„ „ „ Mn O-Bildung .	0·164 q
„ „ „ CO_2 des Kalksteines	11·111 q
zusammen	49·456 q

Disponibler Wasserstoff der Kohle = 0·947 q
Stickstoff = 0·487 — 0·033 . . . = 0·454 q

Es ergibt sich somit:

…ndtheile.	Aus der Beschickung.	Durch Zerlegung von Wasser.	Aus dem Winde.	Summe.	Nach der Analyse.	Differenz.
	q	q	q	q		
…lenstoff	80·930	—	—	80·930	80·930	—
…erstoff	49·467	18·752	82·897	151·116	144·125	—6·991
…sserstoff	0·947	2·369	—	3·316	3,316	—
…ckstoff .	0·454	—	277·526	277·980	277·980	—
…umme	131·796	21·121	360·423	513·342	506·351	—6·991

In der Differenz beim Sauerstoff summiren sich alle …ler der einzelnen Bestimmungen; diese Differenz ist übri…s ungefähr eben so groß, wie bei J. L. Bell (Entwick…g und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen.)

Somit stellt sich die vollständige Zusammensetzung der pro … q producirten Roheisens entweichenden Gichtgase auf:

Kohlenstoff	80·930 q
Sauerstoff	151·116 q
Wasserstoff	3·316 q
Stickstoff	277·980 q

Wasser aus der Gichtung 26·925 q
„ „ dem Winde 3·136 q
40·061 q
Hiervon ab zerlegtes Wasser 21·121 q — 18·940 q

Summe 532·982 q

oder in näheren Bestandtheilen:

			C		O	H	N
Kohlensäure	67·432 q	mit	18·391 C	und	49·091 O		
Kohlenoxyd	141·860 q	„	60·797 C	„	81·063 „		
Methan . .	2·308 q	„	1·731 C	„	—	0·577 H	
Wasserstoff	2·739 q	„	—	„	—	2·739 H	
Stickstoff .	207·636 q	„	—	„	—	—	207·636 N
Luft . . .	91·356 q	„	—	„	21·012 „	—	70·344 N
Wasser . .	18·940 q	„	—	„	16·836 „	2·104 H	—
	532.271 q						

Die eingeblasene Windmenge wiegt 360·423 *q*; da ab[e]
1 *l* Luft bei 0° C., 760 *mm* Barometerstand und 45° Bre[ite]
1·293052 *g* wiegt, so ist dies ein Luftvolum (unter den ob[i]-gen Bedingungen) von $\frac{36042 \cdot 30}{1 \cdot 293052}$ gleich 27874 m^3 oder, [da]
1 *q* Roheisen alle 8·8 Minuten gewonnen wird, pro Minut[e]
$\frac{278 \cdot 74}{8 \cdot 8} = 31 \cdot 67\ m^3$.

Die eingeblasenen 360·423 *q* Luft enthielten aber

$$\frac{360 \cdot 423 \times 0 \cdot 87}{100}$$

gleich 3,136 q Wasserdampf. Analog der verbrauchten Wind-menge berechnet sich das Volum der auf 100 *q* Roheisen ent-fallenden Gichtgasmenge, und man erhält:

$$\text{Kohlensäure} = \frac{6743 \cdot 2}{1 \cdot 965} = 3431 \cdot 6\ m^3$$

$$\text{Kohlenoxyd} = \frac{14186}{1 \cdot 250} = 11348 \cdot 8\ „$$

$$\text{Methan} = \frac{230 \cdot 8}{0 \cdot 715} = 322 \cdot 8\ „$$

$$\text{Wasserstoff} = \frac{273 \cdot 7}{0 \cdot 0895} = 3060 \cdot 3\ „$$

$$\text{Stickstoff} = \frac{20763 \cdot 6}{1 \cdot 254} = 16557 \cdot 9\ „$$

$$\text{Luft} = \frac{9135 \cdot 6}{1 \cdot 293} = 7065 \cdot 4\ „$$

41787·8 m^3 bei 0° C. und

) *mm* oder 1·06222 × 41787·8 = 43587·8 m^3 bei 17°
und 760 *mm*, oder 46689·2 m^3 bei 17° C. und 710 *mm*
rometerstand.

D. Wärmeberechnung.

1. Durch den Wind eingeführte Wärmemenge.

)42·3 *kg* (trockene Luft) × 0·238 (sp. W.) = 8578·8674 Cal.
13·6 *kg* (Wasserdampf) × 0·481 („ „) = 150·8416 „
Summe 8729·7090 × 350° C.
ch 3 055 398·2 Cal.

2. Durch die Gichtmaterialien eingeführte Wärmemenge.

	kg	× spec. Wärme =	Wärmecap. Temp.
. . .	21618	× 0·160 =	2318·880
kstein .	2277	× 0·210 =	478·170
)le . .	9378	× 0·241 =	2260·098
scheisen	523	× 0·130 =	67·990

Summe = 5125·138 × 17 (° C.) =
= 87 127·3 Cal.

3. Durch die chem. Processe im Hochofen gebildete Wärme-
gen.

Diese Zahlen lassen sich allerdings nicht sehr genau er-
eln, da einige Bildungswärmen (wie die der Silicate, des
O_4 2c.) nicht bekannt sind. Die Bildungswärmen der Si-
te sind jedenfalls gering, wir können sie also ohne bedeu-
en Fehler vernachlässigen. Die Bildungswärme des Mn_3O_4
nen wir im Folgenden als gleich mit der von Fe_3O_4 an.

		brauchen zur Bildung von		Cal.
4·3 *kg*		CyK	$\frac{33915 \times 14{\cdot}3}{65{\cdot}1}$ [1]	= 7449·9
9·1 „	Kohlenstoff	CO_2	1839·1 × 8080 [2]	= 14859928·0
9·7 „	„	CO	6079·7 × 2473 [2]	= 15041098·1
3·1 „	„	CH_4	$\frac{230{\cdot}8 \times 22000}{16}$ [3]	= 31735·0
			Summe	29940211·0

[1]) 33915 = Bildungswärme von 65,1 *kg* CyK.
[2]) 2473 und 8080 sind die bei Bildung von CO resp. CO_2 aus Kohlenstoff entwickelten Wärmemengen.
[3]) 22000 ist die Bildungswärme von 16 *kg* CH_4.

4. Durch die chem. Processe im Hochofen verbrauchte Wärmemengen.

Zur Zerlegung von:

11.0 *kg*	K_2O:	$\frac{11 \times 140000}{94}$	=	16383·0 Cal.
8777·5 „	Fe_2O_3:	$6144{\cdot}3 \times 1887$	=	1 216 014·1 „
3898·1 „	FeO:	$3031{\cdot}8 \times 1258$	=	3 814 004·4 „
385·7 „	SiO_2:	$180{\cdot}0 \times 7830$	=	1 409 400·0 „
4·5 „	SO_3:	$\frac{4{\cdot}5 \times 103230}{32}$	=	14 491·7 „
367·8 „	Mn_3O_4:	$102{\cdot}8 \times 4134$	=	424 975·2 „
4·6 „	CuO:	$0{\cdot}9 \times 2394$	=	2 154·6 „
2112·1 „	H_2O:	$236{\cdot}9 \times 34180$	=	8 097 242·0 „
2684·6 „	$CaCO_3$:	$\frac{2684{\cdot}6 \times 42490}{100}$	=	1 140 686·5 „
661·5 „	$MgCO_3$[1]):	$\frac{661{\cdot}5 \times 42490}{84}$	=	334 493·2 „
Zur Reduction von	Mn_3O_4 zu MnO:	$\frac{235{\cdot}7 \times 53200}{232}$	=	54 048·4 „
			Summe	16 521 893·5 Cal.

5. Wärmeentgang durch Roheisen und Schlacken.

	kg		Schmelzw.[2])		
Roheisen . . .	10 523	×	310	=	3 262 130 Cal.
Schlacken . .	5 640	×	440	=	2 481 600 „
				Summe	5 743 730 Cal.

[1]) Die Bildungswärme von $MgO + CO_2$ wurde der von $CaO + CO_2$ gleich angenommen.

[2]) Rinman, Übersicht d. k. Akad. d. Wiss., Abhandlungen 1865, Seite 327.



6. Wärmeentgang durch den Gichtstaub.

285·0 (*kg*) × 0·175 (spec. Wärme)[1]) × 350 (Temp.) =
= 24 456·3 Cal.

7. Wärmeentgang durch die Gichtgase.

	kg		spec. Wärme		Wärmecapac.
CO_2	6743·4	×	0·216	=	1456·5312
CO	14186·0	×	0·246	=	3489·7560
CH_4	230·8	×	0·593	=	136·8644
H_2	275·9	×	3·490	=	933·4110
N_2	20763·6	×	0·244	=	5065·3184
Luft	9135·6	×	0·238	=	2174·2728
Wasser	1894·0	×	0·481	=	911·0140
			Summe		14 167·1678

Wärmecapacität × Temperatur = Wärmemenge.

14 167·1678 × 127 = 1 799 230·3 Cal.

8. Zur Verdampfung des in der Beschickung enthaltenen
ıssers verwendete Wärme.

kg	× totale Verdampf-W.	= Wärmemenge
3692·5 ×	689·5	= 2 545 978·8 Cal.

Resumé.

A) Producirte Wärme.

	Cal.		Proc.
it dem Winde in den Ofen eingeführte Wärmemenge	3 055 398·2	=	9·23
ırch die Gicht eingeführte Wärmemengen	87 127·3	=	0·26
ı Ofen producirte Wärmemengen	29 940 211·0	=	90·51
Summe	33 082 736·5	=	100·00

[1]) Aus der Zusammensetzung berechnet.



B) Verbrauchte Wärme.

Im Ofen zu chemischen Processen .	16 521 893·5 =	49·94
Im Ofen zum Verdampfen des Wassers der Gichtung	2 545 978·8 =	7·69
Im Ofen zum Schmelzen von Roheisen und Schlacke.	5 743 730·0 =	17·36
Wärmeverlust durch den Gichtstaub .	24 456·3 =	0·07
" " die Gichtgase .	1 799 230·3 =	5·43
" durch Leitung u. Strahlung	6 447 447·6 =	19·51
Summe	33 082 736·5 =	100·00

VI. Capitel.

Verschiedene sonstige Arten der Wärmeausnützung.

Hier müssen wir uns, so interessant der Gegenstand auch wäre, auf einige flüchtige Andeutungen und mit Hinweisen auf die einschlägige Literatur (die allerdings auch sehr spärlich ist) beschränken.

Daß die Gasfeuerung, vom calorischen Standpunkte betrachtet, die rationellste ist, wurde schon erwähnt; es handelt sich nur in vielen Fällen (so speciell bei Heizung mit Leuchtgas) um den Kostenpunkt. Interessante Abhandlungen hierüber enthält das mehrfach citirte Werk von Paul: „Heiz- und Lüftungstechnik" und D. Coglievina „theoretisch-praktisches Handbuch der Gasinstallation" ferner müssen wir noch auf die einschlägige Literatur bezüglich der „Gasmotoren" verweisen.

Ein Beispiel über einen Heizversuch bei Gasmotoren enthält das XXV. Capitel des bereits citirten Werkes von Coglievina (p. 224.)

Bezüglich der Lichtstärken verschiedener Lichtquellen haben schon vor ungefähr 50 Jahren Bunsen sowohl als Faraday darauf hingewiesen, daß die Leuchtkraft der Flammen mit der Temperatur derselben in innigem Zusammenhange stehe; gleiches gilt für die Leuchtkraft des elektrischen Bogen- oder Glüh-

ites. So nahe es nun auch liegt zur Beurtheilung des
tzeffectes von Beleuchtungsanlagen thatsächliche Heizversuche
szuführen, ist dies doch (wenigstens unseres Wissens) bisher
h nicht geschehen, weshalb wir nicht umhin können, an dieser
elle auf das Interesse, das derartige Versuche bieten würden,
zuweisen.

Weit reichhaltiger sind die vorliegenden calorischen Unter-
hungen und Berechnungen von elektrometallurgischen Pro-
en, und verweisen wir bezüglich derselben auf Balling's
rundriß der Elektrometallurgie" und Japing „die Elektro-
e, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung", welche ziem-
zahlreiche einschlägige Angaben enthalten und nach wel-
n — mit Berücksichtigung des in diesem Buche Gesagten —
keine Schwierigkeiten bietet, derartige Untersuchungen durch-
ühren.

Von besonderem Interesse, wenn auch nicht ganz fehlerlos,
eine Arbeit von Wilhelm Peukert „Ueber die Trans-
mation der Wärme in elektrische Energie 2c." (in der Zeit-
rift für Elektrotechnik 1886, 5. und 6. Heft), welcher wir
nachfolgenden Angaben über den elektrischen Nutzeffect ver-
iedener Elektricitätsquellen entnehmen.

Elektricitätsquelle	Nutzeffect
aniell'sche Kette	47·72 %
nsen-Element	59·1 "
ermosäule von Rebicek mit 20 Elementen mit Gasheizung	0·16 "
ermosäule von Rebicek mit 25 Elementen mit Gasheizung	0·16 "
ermosäule von Rebicek mit 50 Elementen mit Gasheizung	0·13 "
ermosäule von Clamond mit 100 Elementen mit Gasheizung	0·057 "
ermosäule von Clamond mit Gasheizung . .	0·076 "
" " " " Cokeheizung . .	0·518 "
ynamomaschine mit Dampfmaschine betrieben ca.	3·2 "
" " Gas " " "	5·85 "

Was endlich den calorischen Nutzeffect von Spreng- und Schießpräparaten ꝛc. anbelangt, so sind in dieser Richtung nur sehr wenige Angaben vorhanden, die hauptsächlich in militärischen Fachzeitschriften zerstreut sind.

Zum Schlusse wollen wir noch erwähnen, daß über die Nutzeffecte, resp. über Heizversuche bei Feuerungsanlagen im engeren Sinne ziemlich viele Angaben in der Literatur vorhanden sind — natürlich in sehr verschiedener Vollständigkeit — und verweisen wir bezüglich derselben besonders auf Dingler's polyt. Journal, ferner auf die Dampfkessel-Untersuchungs- und Versicherungs-Zeitschrift, sowie auf die Thonindustriezeitung ꝛc.

Anhang.

I. Schmelzpunkte einiger Körper.

Stoff		Schmelz- (Erstarrungs-) punkt in °C.
a) Elemente		
Aluminium	nach Heeren (1855)	ca. 700°
"	nach v. d. Weyde (Bericht d. deutsch. chem. Gesellschaft, 1879, p. 441)	850°
"	nach Rößler	620°
"	nach Pictet (Compt. rend. 1879, p. 88)	600°
Antimon	nach Pictet (Compt. rend. 1879, p. 88)	440°
"	käufliches, nach Ledebur (Wiedemann's Beiblatt, 1881)	432°
"	nach Cazin	450°
Blei	nach Danielle	322°
"	" Dalton	322°
"	" Rudberg (Luftthermometer)	326°
"	" Kupffer (Luftthermometer)	334°
"	" Person (Luftthermometer)	326·2°
"	" Person (Quecksilberthermometer)	334·0°
"	" Pictet	335°
"	" Cazin	334°
" käuflich,	nach Ledebur	326°
Cadmium	nach Rudberg (Luftthermometer)	320°
"	" Wood	315—316°
"	" Riemsdijk (Luftthermometer)	320°
"	" Rößler	315°
"	" Person (Luftthermometer)	320·7
"	" Ries und Winkelmann	zwischen 310 und 320°
"	" Ditte	gegen 315°
Chrom	" Deville	über Platin-Schmelzhitze
Eisen, chem. rein,	nach Daniell	1587°
" " "	" Pouillet	1500—1600°
" " "	" Carneley	1804°
" " "	" Pictet	1600°
Roheisen, weißes,	nach Pouillet	1050—1100°
" "	" Ledebur	1075°

Stoff	Schmelz- (Erstarrungs-) punkt in °C.
Roheisen, weißes, sehr rein, nach Le Chatelier	1135°
" grau, nach Pouillet	1100—1200°
" " " Le Chatelier	1240°
" " " Gruner	1200°
" " " Ledebur	1275°
Stahl nach Pouillet	1300—1400°
" " Gruner	1350—1400°
" Bessemerstahl nach v. Jüptner, Max.	1700°
" Gußstahl, nach Ledebur	1375°
Gallium, " Lecoqu de Boisbaudran	30·15°
Gold, " Daniell	1144°
" " Pouillet (Luftthermometer)	1200°
" " E. Becquerel	1037°
" " Rößler	1075°
" " E. Becquerel	1092°
" " Erhard & Schertel	1075°
" " Riemsdijk	1240°
" " v. d. Weyde	1250°
" " Pictet	1100°
" " Violle (calorimetrisch)	1035°
" " Seger	1170°
Iridium, " v. d. Weyde	2200°
" " Pictet	2500°
" " Violle (calorimetrisch)	1950°
Kobalt, " v. d. Weyde	1800°
" " Pictet	1500°
Kupfer, " Guyton Moreau	1207°
" " Daniell	1090°
" " Pouillet (Luftthermometer)	1000—1200°
" " Wilson	1236°
" " E. Becquerel (Luftthermomet.)	1157°
" " Riemsdijk	1330°
" " v. d. Weyde	1093°
" " Pictet	1050°
" " Violle	1054°
" " Selve	1050—1200°
" käuflich, " Ledebur	1100°
Mangan, " v. d. Weyde	1900°
	Schmelzp.
Natrium, " Gay Lussac und Thénard	90°
" " Bunsen	95·6°
" " Régnault Erstarr.-P.	97·63°

Stoff			Schmelz- (Erstarrungs-) punkt in °C.
Nickel	nach	Carnelley	1450°
"	"	Le Chatelier	1420°
"	"	Pictet	1450°
"	"	v. d. Weyde	1600°
"	"	Schertel (mit Princep'schen Legirungen)	1392—1420°
"	"	Seger	1550°
Osmium,	"	Pictet	2500°
Palladium,	"	E. Becquerel	1360—1380°
"	"	Carnelley	1950°
"	"	Pictet	1700°
"	"	Violle (calorimetrisch)	1500°
Platin,	"	E. Becquerel	1460—1480°
"	"	Erhard & Schertel	1775°
"	"	Violle	1790°
"	"	Violle	1775°
"	"	Seger	1725°
"	"	v. d. Weyde	2200°
"	"	Pictet	2000°
Quecksilber,	"	Régnault (Luftthermometer)	—38·50°
Silber,	"	Princep	999°
"	"	Daniell	1024°
"	"	Pouillet	1000°
"	"	Wilson	1032°
"	"	Erhard & Schertel	954°
"	"	Becquerel	916°
"	"	Cazin	1023°
"	"	Rößler	954°
"	"	Riemsdijk	1040°
"	"	Violle (calorimetrisch)	954°
" käuflich,	"	Ledebur	960°
Thallium,	"	Lamy	290°
"	"	Crookes	288°
Wismuth,	"	Rudberg (Luftthermometer)	268·3°
"	"	Person (Luftthermometer)	266·8°
"	"	Person (Quecksilberthermometer)	270·5°
" käuflich,	nach	Ledebur (calorimetrisch)	260°
Zink,	nach	Daniell	412°
"	"	Person (Luftthermometer)	415·3°
"	"	Person (Quecksilberthermometer)	433·3°
"	"	Rößler	412°
"	"	Riemsdijk	420°

Stoff	Schmelz- (Erstarrungs-) punkt in °C.
Zink, nach Ditte	gegen 400°
„ käuflich, „ Ledebur (calorimetrisch)	412°
Zinn, „ Crichton	227·8°
„ „ Daniell	228°
„ „ Person (Luftthermometer)	232·7°
„ „ Person (Quecksilberthermometer)	235°
„ „ Rudberg	228·5°
„ „ Riemsdijk	228·5°
„ „ Ries und Winkelmann	226·5°
„ käuflich, „ Ledebur, calorimetrisch	230°
b) Legirungen	
Pb_4 Sn nach Pillichody	292°
Pb_3 Sn „ „	283°
Pb_2 Sn „ „	270°
Pb Sn „ „	235°
Pb Sn_2 „ „	197°
Pb Sn_3 „ „	181°
Pb Sn_4 „ „	187°
1 Zinn + 1 Blei, nach Prechtl	189°
1½ „ + 1 „ „ „	169°
2 „ + 1 „ „ „	171°
3 „ + 1 „ „ „	180°
4 „ + 1 „ „ „	186°
5 „ + 1 „ „ „	192°
6 „ + 1 „ „ „	194°
1 „ + 1½ „ „ „	211°
1 „ + 2 „ „ „	227°
1 „ + 3 „ „ „	250°
1 „ + 4 „ „ „	259°
1 „ + 5 „ „ „	267°
1 „ + 6 „ „ „	270°
72·8 Wismuth + 27·2 Blei nach Rudberg	125·3°
70·2 „ + 29·8 Zinn „ „	136·4°
78·8 „ + 21·2 Cadmium n. „	146·3°
67·8 „ + 32·2 „ „	173·8°
Legirung von Lippowitz (10 Cd + 13·3 Sn + 26·7 Pb + 50 Bi) nach C. v. Hauer	60—65·3°
Wood'sche Legirung (12·5 Cd + 12·5 Sn + 25·0 Pb + 50 Bi) nach C. v. Hauer	65·5—70·0°
83·3 Zink + 16·7 Blei nach Ledebur	205°
69·5 „ + 30·5 „ „ „	190°
50·0 „ + 50·0 „ „ „	202°

Stoff	Schmelz- (Erstarrungs-) punkt in °C.
90 Zink + 10 Antimon nach Ledebur	236°
Britanniametall (82 Zink + 18 Antimon)	250°
Rose's Legirung (1 Sn, 1 Pb, 2 Bi) nach W. Spring	95°
D'Arcet's „ (3 „ 5 „ 8 „) „ „ „	95°
7·1 Cd + 39·7 Pb + 53·2 Bi, nach C. v. Hauer	89·5°
6·7 „ + 43·4 „ + 49·9 „ „ „ „	95°
4·2 Zn + 26·9 Pb + 68·9 Sn, „ Svanberg	168°
10·8 Cd + 14·2 Sn + 24·9 Pb + 50·1 Bi, nach C. v. Hauer	65·5°
10·2 „ + 14·3 „ + 25·1 „ + 50·4 Bi, nach C. v. Hauer	67·5°
7·0 „ + 14·8 „ + 26·0 „ + 52·2 Bi, nach C. v. Hauer	68·5°
13·1 „ + 13·8 „ + 24·3 „ + 48·8 Bi, nach C. v. Hauer	68·5°
6·2 „ + 9·4 + „ 34·4 „ + 50·0 Bi, nach C. v. Hauer	76·5°
90 Blei + 10 Antimon, nach Ledebur	240°
82 „ + 18 „ „ „	260°
92·5 Silber + 7·5 Kupfer, nach W. Ch. Roberts*)	931°
82·1 „ + 17·9 „ „ „ „	886°
79·8 „ + 20·2 „ „ „ „	887°
77·4 „ + 22·6 „ „ „ „	858°
75·0 „ + 25·0 „ „ „ „	850°
71·9 „ + 28·1 „ „ „ „	870·5°
63·0 „ + 37·0 „ „ „ „	847°
60·0 „ + 40·0 „ „ „ „	857°
57·0 „ + 43·0 „ „ „ „	900°
54·1 „ + 45·9 „ „ „ „	920°
50·0 „ + 50·0 „ „ „ „	941°
45·9 „ + 54·1 „ „ „ „	961°
25·0 „ + 75·0 „ „ „ „	1114°
100 „ + 0 Gold nach Erhard & Schertel	954°
80 „ + 20 „ „ „ „	975°
60 „ + 40 „ „ „ „	995°
40 „ + 60 „ „ „ „	1020°
20 „ + 80 „ „ „ „	1045°
0 „ +100 „ „ „ „	1075°
95 Gold + 5 Platin „ „ „	1100°
90 „ + 10 „ „ „ „	1130°
85 „ + 15 „ „ „ „	1160°

*) Schmelzpunkt des Silbers bei 1040°
„ „ Kupfers „ 1330°

Stoff								Schmelz- (Erstarrungs-) punkt in °C.
80	Gold	+	20	Platin	nach	Erhard	& Schertel	1190°
75	"	+	25	"	"	"	"	1220°
70	"	+	30	"	"	"	"	1255°
65	"	+	35	"	"	"	"	1285°
60	"	+	40	"	"	"	"	1320°
55	"	+	45	"	"	"	"	1350°
50	"	+	50	"	"	"	"	1385°
45	"	+	55	"	"	"	"	1420°
40	"	+	60	"	"	"	"	1460°
35	"	+	65	"	"	"	"	1495°
30	"	+	70	"	"	"	"	1535°
25	"	+	75	"	"	"	"	1570°
20	"	+	80	"	"	"	"	1610°
15	"	+	85	"	"	"	"	1650°
10	"	+	90	"	"	"	"	1690°
5	"	+	95	"	"	"	"	1730°
—	"	+	100	"	"	"	"	1775°
Messing								1015°
Bronze								900°
Kautschuk								125°
Carbolsäure								42°
Colophon								139°
Copal								75°
Emailfarben								963·5°
Erdpech								100°
Galumbutter (von Elais guinensis)								110°
Glas bleihaltig								1000 (1400)
" bleifrei								1200°
c) Schlacken ꝛc. nach Erhard & Schertel:								
Schlacke von der Erzarbeit auf Muldner Hütte								1030°
Eine ähnliche Schlacke, besonders reich an Zinkoxyd								1030°
Beide Schlacken waren nach dem Erkalten blasig. Völliger Fluß scheint erst bei einer Temperatur von etwa 1130° einzutreten.								
Kupferstein-Concentrationsschlacke								1045°
Melaphyr von Mulatto								1106°
Pechstein " Arran								1106°
Hauynbasalt von Neudorf bei Annaberg zwischen								1080°
und								1106°
Leucitbasalt vom Pöhlberg bei Annaberg								1130°
Syenit von Edle Krone bei Tharandt zwischen								1130°
und								1160°
Pechsteinporphyr von Leisnig zwischen								1130°
und								1160°

Stoff	Schmelz- (Erstarrungs-) punkt in °C.
Quarzporphyr aus dem Travignothale } zwischen	1130°
und	1160°
Asbest ungefähr	1300°
Rohschlacke der alten Freiberger Roharbeit (in Schachtöfen) } zwischen	1160°
und	1178°
Bleischlacke der alten Bleiarbeit (1836)	1160°
Altenberger reine Zinnschlacke	1160°
Kupfer	1100°
Eisenhochofenschlacke, bestehend aus: 50 % SiO_2, 17 % Al^2O^3, 3 % FeO, 30 % CaO	1208°
Freiberger Rohschlacke, bestehend aus: 48% SiO_2, 9 % Al_2O_3, 37% FeO, 4·5% CaO, 1·5% MgO	1166°
„ bestehend aus 50% SiO^2, 6% Al^2O^3, 38% FeO, 3% CaO, 1·5% MgO, 1·5% BaO	1178°
Freiberger Bleischlacke, bestehend aus: 36·5% SiO^2, 40·5 FeO, 8·5% Al^2O^3, 4·0%, CaO, 3·0% MgO, 7·5% BaO	1160°
Freiberger Schwarzkupferschlacke, bestehend aus: 32·7% SiO_2, 60·3% FeO, 7% Al^2O^3	
a) in einem eisernem Tiegel	1172°
b) „ „ Thontiegel	1166°
Almandin } zwischen	1130°
und	1160°
Gemeine Hornblende von Marienberg	1130°
Basaltische „ „ Luckow bei Teplitz	1166°
Amphibol aus dem Zillerthale } zwischen	1385°
und	1413°
Adular vom St. Gotthard } zwischen	1400°
und	1420°
Bronzit von Kupferberg in Böhmen } zwischen	1420°
und	1436°
Turmalingranat von Mulatto begann theilweise zu schmelzen bei	1227°
„ zeigte noch ungeschmolzene Partien bei	1400°
Glimmerporphyr von den Knorre begann theilweise zu schmelzen bei	1227°
„ zeigte noch ungeschmolzene Partien bei	1452°

II. Siedepunkte einiger Körper (nach Pfaundler).

Substanz	Siedepunkt in °C.
Aceton	56·3°
Aether bei 760 *mm* nach Régnault	34·87°
Aldehyd	20·8° bis 21·8°
Alkohol absolut	78·4°
Ameisensäure	100·0°
Amylalkohol	131°
Ammoniak, wasserfreies, nach Régnault bei 760 *mm*	—38·5°
„ „ „ Bunsen „ 749·3 „	—33·7°
Anilin	182°
Benzol	80·4°
Brom nach Stas bei 759·7 *mm*	63·0°
„ „ Andrews bei 760 „	58°
„ „ Landolt „ 760·1 „	58·6°
Cadmium	720°
Chlor nach Régnault bei 760 *mm*	—33·6°
Chloräthyl	11° bis 12·5°
Chloroform	60·5°
Cyangas	—18°
Essigsäure	117·3°
Jod nach Gay-Lussac	175° bis 180°
„ „ Stas über	200°
Kohlensäure nach Faraday	—78°
„ „ Pictet	—80°
Methylalkohol	65·5°
Phosphor	290°?
Quecksilber nach Régnault	358·5°
Salpetersäure, wasserfreie	45° bis 50°
„ I. Hydrat, nach Mitscherlich	86°
„ mit 68 %	120°
Schwefel, nach Régnault bei 760 *mm*	448·4°
Schwefelkohlenstoff, nach Kopp bei 760 *mm*	47°
„ nach Gay-Lussac „ 760 „	46·6°
„ „ Régnault „ 760 „	46·2°
„ „ Pierre „ 755·8 „	47·9°
Schwefelsäure, wasserfreie, nach Schultz-Sellak	46°
„ Monohydrat, „ Hämmerle	317·35°
„ Bihydrat, „ „	228·10°
„ Trihydrat „ „	178·72°
Schweflige Säure nach Régnault	—10·08°
Silber siedet im Knallgasgebläseofen	
Stickoxydul nach Faraday	—87·2°
„ „ Pictet	—92°
Terpentinöl	157°
Wasser	100°

Substanz	Siedepunkt in °C.
Zink, nach Deville bei 759·5 *mm*	1039°
„ „ Troost „ 761·2 „	1040°
„ „ Weinhold „ 718·9 „	1035°
Zinnchlorid	120°

III. Tension des Wasserdampfes

p *mm* Quecksilbersäule bei den Temperaturen t, oder Siede-
ıkt t des Wassers bei einem Drucke von p *mm* Quecksilber
nach Régnault's Messungen berechnet von Broch.

mpe-atur ° C.	Druck p in *mm* Quecksilb.	Tempe-ratur t° C.	Druck p in *mm* Quecksilb.	Tempe-ratur t° C.	Druck p in *mm* Quecksilb.	Tempe-ratur t° C.	Druck p in *mm* Quecksilb.
—19	1·0288	+12	10·4322	+43	64·3104	+74	276·8675
18	1·1202	13	11·1370	44	67·7568	75	288·7640
17	1·2187	14	11·8835	45	71·3619	76	301·0860
16	1·3248	15	12·6739	46	75·1314	77	313·8457
15	1·4390	16	13·5103	47	79·0714	78	327·0549
14	1·5618	17	14·3950	48	83·1883	79	340·7265
13	1·6939	18	15·3304	49	87·4882	80	354·8730
12	1·8357	19	16·3189	50	91·9780	81	369·5075
11	1·9880	20	17·3632	51	96·6644	82	384·6432
10	2·1514	21	18·4659	52	101·5541	83	400·2933
9	2·3266	22	19·6297	53	106·6546	84	416·4721
8	2·5143	23	20·8576	54	111·9730	85	433·1938
7	2·7153	24	22·1524	55	117·5162	86	450·4730
6	2·9304	25	23·5174	56	123·2925	87	468·3240
5	3·1605	26	24·9556	57	129·3095	88	486·7635
4	3·4065	27	26·4705	58	135·5750	89	505·8059
3	3·6693	28	28·0654	59	142·0973	90	525·4676
2	3·9499	29	29·7439	60	148·8848	91	545·7650
1	4·2493	30	31·5096	61	155·9456	92	566·7149
0	4·5687	31	33·3664	62	163·2889	93	588·3349
+1	4·9091	32	35·3181	63	170·9236	94	610·6426
2	5·2719	33	37·3689	64	178·8585	95	633·6567
3	5·6582	34	39·5228	65	187·1028	96	657·3956
4	6·0693	35	41·7842	66	195·6663	97	681·8791
5	6·5067	36	44·1577	67	204·5586	98	707·1271
6	6·9718	37	46·6477	68	213·7895	99	733·1602
7	7·4660	38	49·2590	69	223·3691	100	760·0000
8	7·9909	39	51·9965	70	233·3079	101	787·6678
9	8·5484	40	54·8651	71	243·6163		
10	9·1398	41	57·8700	72	254·3048		
11	9·7671	42	61·0167	73	265·3849		



IV. Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes
nach Régnault.

Temperatur des Dampfes in °C.	Spannkraft des Dampfes			Temperatur des Dampfes in °C.	Spannkraft des Dampfes		
	in Millimeter Quecksilber	in kg per 1 cm^2 (neue Atmosph.)	alte absolute Atmosphäre		in Millimeter Quecksilber	in kg per 1 cm^2 (neue) Atmosph.	alte absolute Atmosphäre
100°	760·00	1·034	1·000	138°	2567·0	3·493	3·378
101	787·59	1·071	1·036	139	2641·4	3·594	3·476
102	816·01	1·111	1·074	140	2717·6	3·697	3·576
103	845·28	1·149	1·112	141	2795·6	3·803	3·678
104	875·41	1·191	1·152	142	2875·3	3·912	3·783
105	906·41	1·233	1·193	143	2956·9	4·024	3·891
106	938·31	1·277	1·235	144	3040·3	4·136	4·000
107	971·14	1·321	1·278	145	3125·6	4·251	4·113
108	1004·91	1·367	1·322	146	3212·7	4·371	4·227
109	1039·65	1·415	1·368	147	3301·9	4·493	4·345
110	1070·37	1·463	1·415	148	3393·0	4·595	4·464
111	1112·09	1·513	1·463	149	3486·1	4·640	4·487
112	1149·83	1·564	1·513	150	3581·2	4·871	4·712
113	1188·61	1·617	1·564	151	3678·4	5·005	4·840
114	1228·47	1·671	1·616	152	3777·7	5·140	4·971
115	1269·41	1·727	1·671	153	3879·2	5·278	5·104
116	1311·47	1·785	1·726	154	3982·8	5·419	5·241
117	1354·66	1·843	1·782	155	4088·6	5·561	5·379
118	1399·02	1·904	1·841	156	4196·6	5·710	5·522
119	1444·55	1·965	1·901	157	4306·9	5·859	5·666
120	1491·28	2·028	1·963	158	4419·5	6·013	5·815
121	1539·25	2·094	2·025	159	4534·4	6·169	5·966
122	1588·47	2·161	2·090	160	4651·6	6·327	6·121
123	1638·96	2·230	2·157	161	4771·3	6·491	6·278
124	1690·76	2·301	2·225	162	4893·4	6·658	6·439
125	1743·88	2·372	2·295	163	5017·9	6·826	6·602
126	1798·35	2·446	2·366	164	5145·0	6·997	6·767
127	1854·20	2·523	2·440	165	5274·5	7·176	6·940
128	1911·47	2·601	2·515	166	5406·7	7·356	7·114
129	1970·15	2·680	2·592	167	5541·4	7·539	7·291
130	2030·28	2·762	2·671	168	5678·8	7·726	7·472
131	2091·9	2·856	2·762	169	5818·9	7·916	7·656
132	2155·0	2·932	2.836	170	5961·7	8·109	7·844
133	2219·7	3·020	2.921	171	6107·2	8·309	8·036
134	2285·9	3·110	3.008	172	6255·5	8·511	8·231
135	2353·7	3·202	3·097	173	6406·6	8·717	8·430
136	2423·2	3·301	3·188	174	6560·6	8·923	8·630
137	2494·2	3·290	3·282	175	6717·4	9·140	8·839

Temperatur des Dampfes in °C.	Spannkraft des Dampfes			Temperatur des Dampfes in °C.	Spannkraft des Dampfes		
	in Millimeter Quecksilber	in *kg* per 1 *cm*² (neue Atmosph.)	alte absolute Atmosphäre		in Millimeter Quecksilber	in *kg* per 1 *cm*² (neue Atmosph.)	alte absolute Atmosphäre
176°	6877·2	9·357	9·049	204°	12694·3	17·271	16·703
177	7040·0	9·578	9·263	205	12955·7	17·627	17·047
178	7205·7	9·803	9·481	206	13221·1	17·987	17·396
179	7374·5	10·032	9·703	207	13490·8	18·355	17·751
180	7546·4	10·265	9·919	208	13764·5	18·727	18·111
181	7721·4	10·465	10·160	209	14042·5	19·105	18·477
182	7899·5	10·747	10·394	210	14324·8	19·485	18·848
183	8080·8	11·015	10·633	211	14611·8	19·879	19·225
184	8265·4	11·246	10·876	212	14902·2	20·275	19·608
185	8453·2	11·500	11·122	213	15197·5	20·676	19·996
186	8644·4	11·761	11·374	214	15497·2	21·084	20·391
187	8838·8	12·025	11·630	215	15801·3	21·498	20·791
188	9036·7	12·294	11·890	216	16109·9	21·918	21·197
189	9238·0	12·568	12·155	217	16423·2	22·344	21·609
190	9442·7	12·844	12·425	218	16740·9	22·777	22·028
191	9650·9	13·130	12·698	219	17063·3	23·229	22·465
192	9862·7	13·418	12·977	220	17390·4	23·655	22·882
193	10078·0	13·712	13·261	221	17722·1	24·111	23·318
194	10297·0	14·009	13·548	222	18058·6	24·569	23·761
195	10519·6	14·312	13·841	223	18399·9	24·924	24·201
196	10746·0	14·620	14·139	224	18746·1	25·485	24·666
197	10975·0	14·930	14·440	225	19097·0	25·982	25·128
198	11209·8	15·252	14·750	226	19452·9	26·466	25·596
199	11447·5	15·572	15·060	227	19813·8	27·037	26·071
200	11689·0	15·899	15·380	228	20179·6	27·535	26·552
201	11934·4	16·237	15·703	229	20550·5	27·959	27·040
202	12183·7	16·576	16·031	230	20926·4	28·464	27·535
203	12437·0	16·920	16·364				

V. Siedepunkt des Wassers bei 1—10 Atmosphären Druck nach Zeuner.

Druck in Atmosph.	Siedepunkt in °C.	Druck in Atmosph.	Siedepunkt in °C.
1	100·00°	8	170·81
2	120·60	9	175·77
3	133·91	10	180·31
4	144·00	11	184·50
5	152·22	12	188·41
6	159·22	13	192·08
7	165·34	14	195·53

VI. Spannkraft des Quecksilberdampfes
(nach Régnault).

Temperatur (Luftthermometer)	Tension des Quecksilberdampfes in *mm*	Temperatur (Luftthermometer)	Tension des Quecksilberdampfes in *mm*	Temperatur (Luftthermometer)	Tension des Quecksilberdampfes in *mm*
0°	0·0200	180	11·00	360	797·74
10	0·0268	190	14·84	370	954·65
20	0·0372	200	19·90	380	1139·65
30	0·0530	210	26·35	390	1346·71
40	0·0767	220	34·70	400	1587·96
50	0·1120	230	45·35	410	1863·73
60	0·1643	240	58·82	420	2177·53
70	0·2410	250	75·75	430	2533·01
80	0·3528	260	96·73	440	2933·99
90	0·5142	270	123·01	450	3384·35
100	0·7455	280	155·17	460	3888·14
110	1·0734	290	194·46	470	4449·45
120	1·5341	300	242·15	480	5072·43
130	2·1752	310	299·69	490	5761·32
140	3·0592	320	368·73	500	6520·25
150	4·2664	330	450·91	510	7353·44
160	5·9002	340	548·35	520	8264·96
170	8·0912	350	663·18		

VII. Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten
(nach Régnault).

Temperatur	Alkohol	Aether	Schwefelkohlenstoff	Chloroform	Terpentinöl	Temperatur
−21°	3·12	—	—	—	—	−21°
−20	3·34	69·2	—	—	—	−20
−16	—	—	58·8	—	—	−16
−10	6·50	113·2	79·0	—	—	−10
0	12·73	182·3	127·3	—	2·1	0
+10	24·08	286·5	199·3	130·4	2·3	+10
20	44·0	434·8	298·2	190·2	4·3	20
30	78·4	637·0	434·6	276·1	7·0	30
40	134·1	913·6	617·5	364·0	11·2	40
50	220·3	1268·0	852·7	524·3	17·2	50
60	350·0	1730·3	1162·6	738·0	26·9	60
70	539·2	2309 5	1549·0	976·2	41·9	70
80	812·8	2947·2	2030·5	1367·8	61·2	80
90	1190·4	3899·0	2623·1	1811·5	91·0	90

Temperatur	Alkohol	Aether	Schwefelkohlenstoff	Chloroform	Terpentinöl	Temperatur
100°	1685·0	4920·4	3321·3	2354·6	134·9	100
110	2351·8	6249·0	4136·3	3020·4	187·3	110
116	—	7076·2	—	—	—	116
120	3207·8	—	5121·6	3818·0	257·0	120
130	4331·2	—	6260·6	4721·0	347·0	130
136	—	—	7029·2	—	—	136
140	5637·7	—	—	—	462·3	140
150	7257·8	—	—	—	604·5	150
152	7617·3	—	—	—	—	152
160	—	—	—	—	777·2	160
180	—	—	—	—	1225·0	180
200	—	—	—	—	1865·6	200
222	—	—	—	—	2778·5	222

VIII. Zusammenstellung der wichtigsten mittleren Ausdehnungs-Coëfficienten fester Körper für 1° C.

Name des Körpers	Temperatur-Intervall	Mittlerer Ausdehnungs-Coëfficient für 1° C.	Beobachter
Englisches Flintglas	0—100	0·0000 081160	Lavoisier & Laplace
Franz. bleihältiges Glas	0—100	087199	〃 〃
Bleifreie Glasröhren	0—100	087572	〃 〃
〃 〃	0—100	091750	〃 〃
Glas von St. Gobain	0—100	089089	〃 〃
Stahl, nicht gehärtet	0—100	107880	〃 〃
〃 〃 〃	0—100	107960	〃 〃
〃 gehärtet bis 65° angelassen	0—100	123956	〃 〃
Weiches Eisen, geschmiedet	0—100	122045	〃 〃
Stabeisen	0—100	123504	〃 〃
Gold	0—100	146606	〃 〃
〃	0—100	156155	〃 〃
Kupfer	0—100	171220	〃 〃
〃	0—100	172240	〃 〃
Messing	0—100	186760	〃 〃
〃	0—100	188970	〃 〃
Silber	0—100	190868	〃 〃
〃 (Capellensilber)	0—100	190974	〃 〃
Zinn, indisches	0—100	193765	〃 〃

Name des Körpers	Temperatur-Intervall	Mittlerer Ausdehnungs-Coëfficient für 1° C.	Beobachter
Zinn, von Falmouth	0—100	0·0000 217298	Lavoisier & Laplace
Blei	0—100	284836	„ „
Glas in Röhren	0—100	077550	Roy
„ solider Stab	0—100	080833	„
Eisen, gegossenes Prisma	0—100	111000	„
Stahl	0—100	114450	„
Messing von Hamburg	0—100	185550	„
„ englisches	0—100	189296	„
Weißes Glas, Barometerröhren	0—100	083333	Smeaton
Antimon	0—100	108330	„
Stahl	0—100	115000	„
Gehärteter Stahl	0—100	122500	„
Eisen	0—100	125833	„
Wismuth	0—100	139167	„
Kupfer, gehämmert	0—100	170000	„
Legirung : 8 Kupfer + 1 Zinn	0—100	181667	„
Messing, gegossen	0—100	187500	„
„ -Draht	0—100	193333	„
Bronze (1 Thl. Messing, 1 Thl. Zinn)	0—100	019083	„
Spiegelmetall zu Telescopen	0—100	193333	„
Loth (2 Thl. Kupfer, 1 Thl. Zink)	0—100	205333	„
Reines Zinn	0—100	228833	„
Weißloth (1 Thl. Zinn, 2 Thl. Blei)	0—100	250533	„
Blei	0—100	286667	„
Zink	0—100	294167	„
Platin	0—100	099180	„
Stahl	0—100	118990	Troughton
Eisen zu Draht gezogen	0—100	144010	„
Kupfer	0—100	191880	„
Silber	0—100	208260	„
Platin	0—100	088420	Dulong et Petit
„	0—300	091827	„ „
Glas	0—100	086133	„ „
„	0—200	092251	„ „
„	0—300	101084	„ „
Eisen	0—100	118220	„ „
„	0—300	146843	„ „
Kupfer	0—100	171820	„ „

Name des Körpers	Temperatur-Intervall	Mittlerer Ausdehnungs-Coëfficient für 1° C.	Beobachter
Kupfer	0—300	0·0000 188324	Dulong et Petit
Weißes Glas, Röhre	0—100	08826	Régnault
„ „ Kugel von 46 *mm* Durchmesser	0—100	08640	„
Weißes Glas, Kugel von 33 *mm* Durchmesser	0—100	08346	„
Grünes Glas, Röhre	0—100	07663	„
Grünes Glas, Kugel von 36 *mm* Durchmesser	0—100	07106	„
Schwedisches Glas, Röhre	0—100	07876	„
„ „ Kugel von 34 *mm* Durchm.	0—100	08136	„
Schwedisches Glas, Kugel von 32 *mm* Durchm.	0—100	08036	„
Französisches Glas, Röhre schwer schmelzbar	0—100	07140	„
Französisches Glas. Kugel von 32 *mm* Durchm.	0—100	07473	„
Krystall-Glas, Röhre	0—100	07006	„
„ „ Kugel von 39 *mm* Durchmesser	0—100	07766	„
Stahl	0—100	10750	Ellicot
„	0—100	11040	Berthoud
„ gehärtet	0—100	13715	„
„	0—100	11600	De Luc
„	0—100	11301	Struve
Aluminium	0—100	22239	Winnert
Blei	0—100	27856	Daniell
Messing (3 Thl. Kupfer, 1 Thl. Zink)	0—100	21444	„
Letternmetall	0—100	20352	„
Silber	0—100	19512	„
Bronze	0—100	18492	„
Eisen	0—100	11808	„
„ gegossen	0—100	10716	„
Stahl, steirischer	0—100	11520	Horner
„ von Schaffhausen	0—100	11120	„
Huntsmanstahl	0—100	10740	„
Messingblech von Tirol	0—100	19030	„
Eisen	0—100	11680	„
Ziegel, gewöhnliche	0—100	05502	Adie
„ harte	0—100	04928	„
Romancement	0—100	14349	„
Granit, roth v. Peterhead	0—100	08968	„

Name des Körpers	Temperatur-Intervall	Mittlerer Ausdehnungs-Coëfficient für 1° C.	Beobachter
Granit, grau v. Aberdeen	0—100	0·0000 07894	Adie
Eisen, gegossen	0—100	11245	"
Bausteine v. Caithneß	0—100	08089	"
" " Arbroath	0—100	08985	"
Kalkstein, grün, v. Ratho	0—100	08089	"
Schiefer von Penrhyn	0—100	10376	"
Steingut	0—100	04573	"
Holzkohle aus Tannenholz	0—100	10000	Heinrich
" " Eichenholz	0—100	12000	"
Kohlensaurer Kalk nach der Hauptaxe	0—100	28600	Mitscherlich
Kohlensaurer Kalk senkrecht zur Axe	0—100	05600	"
Eis	zwischen —27·5 und —1·25	51270	Pohrt
"		51813	Moritz
"	zwischen —20 und —70	52356	Schuhmacher
"		52833	Plücker & Geißler
Ahorn, längs der Fasern, getrocknet	0—100	0502	Paul Glatzel
Weißbuche	0—100	0604	" "
Polisander	0—100	0608	" "
Fichte	0—100	0608	" "
Buchsbaum	0—100	0623	" "
Rüster	0—100	0635	" "
Erle	0—100	0699	" "
Rothbuche	0—100	0716	" "
Birnbaum	0—100	0721	" "
Eiche	0—100	0746	" "
Pappel	0—100	0761	" "
Mahagony	0—100	0784	" "
Esche	0—100	0951	" "
Ebenholz	0—100	0970	" "

IX. Zusammenstellung der wahren linearen Ausdehnungs-coëfficienten fester Körper nach Fizeau.

Namen der Körper	Linearer Ausdehnungs-Coëfficient, giltig für das Temperatur-Intervall 40° bis 41° C. = α_{40}	Zunahme dieses Coëfficienten für je 1° C. in Einheit. d. 8. Decim. = β	Ausdehnungs-Coëfficient für das Intervall 0° bis 100° C.
Kohlenstoff (Diamant).	0·000 00118	1·44	0·00 0132
Gasretortenkohle	00546	1·10	0551
Graphit von Batongol	00786	1·01	0796
Anthrazit von Pensylvanien	02078	— 8·15	1996
Steinkohle von Charleroy	02782	2·95	2811
Paraffine v. Rangoon, Schmelzp. = 56°	27854	99·26	—
Silicium, krystallisirt	00276	1·46	0291
Schwefel von Sicilien	06413	33·48	6748
Selen, geschmolzen	03680	11·15	3792
Tellur, 〃	01675	5·75	1782
Arsen, sublimirt	00963	2·81	0991
〃 〃	00767	0·90	0776
Osmium, halb geschmolzen	00657	2·18	0679
Ruthenium 〃 〃	00963	2·81	0991
〃 comprimirtes Pulver	00767	0·90	0776
Palladium, geschmiedet u. ausgeglüht	01176	1·32	1189
Rhodium, halb geschmolzen	00850	0·81	0858
Iridium, geschmolzen	00683	0·94	0693
Platin, 〃	00905	1·06	0916
〃 -Iridium, geschm. (Ir. = 0·08)	00882	0·76	0890
Gold, geschmolzen	01443	0·83	1451
Silber 〃	01921	1·47	1936
Kupfer, natürliches vom Obern-See	01690	1·83	1708
〃 künstliches	01678	2·05	1698
Messing (71·5 Cu, 27·7 Zn, 0·3 Sn, 0·5 Pb)	01859	1·96	1879
Bronze (86·3 Cu, 9·7 Sn, 4·0 Zn)	01782	2·04	1802
Nickel, durch Wasserstoff reducirt und comprimirt	01279	0·71	1286
Kobalt, d. Wasserst. reduc. u. compr.	01236	0·80	1244
Eisen, weiches	01210	1·85	1228
〃 durch Wasserst. reduc. u. compr.	01188	2·05	1208
Meteoreisen (de Caille)	01095	1·75	1113
Französischer Gußstahl, gehärtet	01322	3·99	1362
Französischer Gußstahl, ausgeglüht	01101	1·24	1113

Namen der Körper	Linearer Ausdehnungs-Coëfficient, giltig für das Temperatur-Intervall 40° bis 41° C. = α_{40}	Zunahme dieses Coëfficienten für je 1° C. in Einheit. d. 8. Decim. = β	Ausdehnungs-Coëfficient für das Intervall 0° bis 100° C.
Englischer Gußstahl, ausgeglüht	0·000 0109^{5}	1·52	0·00 1110
Gußeisen, grau	0106^{1}	1·37	1075
Wismuth, krystallisirt (Rhomboëder von 87° 40′) parallel z. Axe	0162^{1}	2·09	1642
" senkrecht "	0120^{8}	3·11	1239
" Mittel, berech.	0134^{6}	2·77	1374
Antimon krystallisirt (Rhomboeder von 117° 8′) parallel z. Axe	0169^{2}	— 0·94	1683
" senkrecht "	0088^{2}	1·34	0895
" Mittel, berech.	0115^{2}	0·58	1158
Zinn von Malacca, compr. Pulver	0223^{4}	3·51	2269
Indium, geschmolzen	0417^{0}	42·38	4594
Blei, "	0292^{4}	2·39	2948
Thalium, "	0302^{1}	11·41	3135
Zink, destillirt, compr. Pulver	0291^{8}	— 1·27	2905
Cadmium " " "	0306^{9}	3·26	3102
Aluminium, geschmolzen	0231^{3}	2·29	2336
Magnesium	0269^{4}	6·84	2762
Obsidian, durchsichtig	0048^{4}	1·14	0495
Jodsilber, geschmolzen	0013^{9}	— 1·40	0153
" comprimirtes Pulver	0013^{7}	— 1·60	0153
Quecksilberjodur, geschmolzen	0238^{8}	19·96	2588
Jodblei, "	0336^{0}	5·84	3418
Jodcadmium, "	0291^{6}	17·47	3091
Bromsilber, "	0346^{9}	3·83	3507
Zinnoxyd (Cassiderit) parallel z. Axe	0039^{2}	1·19	—
" " senkrecht "	0032^{1}	0·76	—
Titansäure, (Rutil), parallel "	0091^{9}	2·25	—
" " senkrecht "	0071^{4}	1·10	—
" (Anatas), parallel "	0081^{9}	3·11	—
" " senkrecht "	0046^{8}	2·95	—
Quarz, parallel zur Axe	0078^{1}	2·05	—
" senkrecht " "	0141^{9}	2·38	—
Antimonoxyd (Senarmontit)	0196^{3}	0·57	—
" (oktaedrisch)	0412^{6}	6·79	—
Eisenoxyduloxyd (Magnetit)	0084^{6}	2·89	—
Franklinit	0080^{6}	0·94	—
Zinkoxyd (Spartalit), parallel z. Axe	0031^{6}	1·86	—
" " senkrecht " "	0053^{9}	1·23	—
Periklas	0104^{3}	2·67	—
Kupferoxyd (Ziegelerz)	0009^{3}	2·10	—

Namen der Körper	Linearer Ausdehnungs-Coëfficient, giltig für das Temperatur-Intervall 40° bis 41° C. = α_{40}	Zunahme dieses Coëfficienten für je 1° C. in Einheit. d. 8. Decim. = β	Ausdehnungs-Coëfficient für das Intervall 0° bis 100° C.
hwefelblei (Galenit)	0·000 02014	0·54	—
hwefelzink (Zinkblende)	00670	1·28	—
rit	00913	1·78	—
baltin	00919	1·70	—
naltin	00919	1·64	—
abandin von Nagyag	01519	2.17	—
uerit	01111	8·89	—
baltsesquisulfid	01037	1·59	—
mannit	01112	— 0·15	—
illipsit	01714	1·70	—
gnetkies, parallel zur Axe	00235	8·64	—
" senkrecht " "	03120	— 1·65	—
nober, parallel " "	02147	1·51	—
" senkrecht " "	01791	0·63	—
gnesiacarbonat (Giobertit von Bruck) parallel zur Axe	02130	3·39	—
dto. senkrecht " "	00590	2·43	—
deroplesit, parallel " "	01918	2·55	—
" senkrecht " "	00605	6·73	—
lomit v. Traverselle parall. " "	02060	3·68	—
" " " senkrecht " "	00415	1·93	—
änd. Doppelspath, parallel " "	02621	1·60	—
" " senkrecht " "	00540	0·87	—
gonit, parallel zur Hauptaxe	03460	3·37	—
" senkrecht " "	01719	3·68	—
" " zu beiden vorigen	01016	0·64	—
ßspath	01911	2·88	—
ytsulfat (Schwerspath), Mittel	01806	0·95	—
ontiansulfat, "	01754	1·15	—
acit	00391	1·69	—
gemma	04039	4·49	—
rkalium	03803	5·15	—
miak	06255	29·75	—
mkalium	04201	9·78	—
kalium	04265	16·76	—
rsilber, krystallisirt	03294	12·23	—
ilber, krystallisirt, parallel zur Axe	00397	— 4·27	—
ilber, krystallisirt, senkrecht z. Axe	00065	1·31	—
rolit, Mittel	00708	3·15	—

Namen der Körper	Linearer Ausdehnungs-Coëfficient, giltig für das Temperatur-Intervall 40° bis 41° C. = α_{40}	Zunahme dieses Coëfficienten für je 1° C. in Einheit. d. 8. Decim. = β	Ausdehnungs-Coëfficient für das Intervall 0° bis 100° C.
Topas, weiß, von Australien, parallel zur Hauptaxe	0·000 00592	1·83	—
Turmalin, grün, v. Brasilien, parallel zur Hauptaxe	00905	3·20	—
Turmalin, grün v. Brasilien senkrecht zur Hauptaxe	00379	1·83	—
Idokras (Vesuvian v. Wilni) parallel zur Hauptaxe	00740	1·74	—
Idokras (Vesuvian v. Willni) senkrecht zur Hauptaxe	00839	1·67	—
Granat (Pyrop von Böhmen)	00827	2·10	—
„ orientalischer, von Indien	00837	1·80	—
„ edler von Grönland,	00832	1·31	—
„ Spessartin von Haddau	00824	2·14	—
„ Melanit von Frascati	00734	1·43	—
„ „ „ Magnet-Cove	00736	1·74	—
„ „ „ Sachsen	00743	0·70	—
„ gestreift von Orsova	00745	1·78	—
„ „ „ Ceylon	00693	1·87	—
„ Grossular „ Wilni	00693	1·60	—
„ „ „ Orawitza	00684	1·60	—
Spinell, blaßrother Rubin, v. Ceylon	00593	1·95	—
„ (Pleonast), von Warwik	00603	1·97	—
„ (Galmit), von Falun	00595	1·83	—
„ (Kreittonit) von Silberberg	00596	1·94	—
Chrysoberyll, parallel zur Hauptaxe	00602	2·20	—
Beryll „ „ „	00106	1·14	—
„ senkrecht „ „	00137	1·33	—
Phenakit parallel „ „	00379	2·13	—
„ senkrecht „ „	00299	2·30	—
Zirkon parallel „ „	00443	1·41	—
„ senkrecht „ „	00233	1·91	—
Feldspath, v. St. Gotthart, parallel zur Hauptaxe	00203	1·28	—
Epidot v. Brasilien par. zur Hauptaxe	00913	2·55	—
Pyroxen (Augit) v. Westerwald, parallel zur Hauptaxe	01386	0·76	—
Amphibol (Hornblende), Mittel	00866	2·02	—
Azurit von Chessy, par. zur Hauptaxe	01259	2·03	—
Gyps v. Montmartre, par. z. Hauptaxe	01463	9·36	—

Der wahre lineare Ausdehnungs-Coëfficient für die in jer Tabelle zusammengestellten Stoffe oder die Temperatur = 40° + τ Grad Celsius (wobei τ positive oder negative rthe annehmen kann) berechnet sich nach der Formel:

$$\alpha_t = \alpha_{40} + \tau . \beta.$$

Factoren zur Berechnung der Länge einiger Körper bei der Temperatur t aus jener bei 0° C

nach der Formel $l_t = l_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$ nach Matthiessen.)

Körper	α	β
Cadmium	0·0000 2693	0·000 000 0 466
Zink	2741	0 233
Blei	2726	0 074
Zinn	2033	0 263
Silber	1809	0 135
Kupfer	1481	0 185
Gold	1358	0 112
Wismuth	1167	0 149
Palladium	1011	0 093
Antimon	0923	0 632
Platin	0851	0 035
Legirungen nach Aequivalenten.		
Sn_4 Pb	0·0000 6200	0·000 000 0 988
Pb_4 Sn	8087	0 332
Cd Pb	9005	0 133
Sn_4 Zn	6377	0 807
Sn_6 Zn	6236	0 822
Bi Sn_2	4997	0 101
Bi Pb_2	8462	0 159
Au Sn_2	3944	0 289
Ag_4 Au	5166	0 000
Ag Au	4916	0 000
Ag Au_4	3115	1 185

XI. Verlängerung verschiedener Materialien bei verschiedenen Temperaturen

(nach Muspratt „Chemie", 3. Aufl., 3. Bd. p. 774).

1000000 Theile $16^2/_3{}^0$ sind	Bei 100°	Bei 350°	Beim Schmelzpunkt	Anmerkung
Graphitmasse	1000244	1000703	—	—
Steingut, Wedgewood	1000785	1002995	—	—
Platin	1000535	1002995	1009926	höchste zu erreichende Temperatur
Gußeisen	1000984	1004483	1018378	Schmelzpunkt
Schmiedeeisen	1000893	1003943	1016398	"
Gold	1001025	1004238	—	"
Kupfer	1001430	1006347	1024376	"
Silber	1001626	1006886	1020640	"
Zink	1002480	1008527	1012621	"
Blei	1002323	—	1000972	"
Zinn	1001472	—	1003798	"

XII. Formeln für die kubische Ausdehnung fester Körper

(nach Landolt & Börnstein, „phys.-chem. Tabellen")

ist V_0 das Volum bei 0°, so ist dasselbe bei t° . $V_t = V_0 (1 + at + bt^2 + ct^3 + dt^4)$. In einzelnen Fällen ist das Volum nicht auf 0°, sondern auf eine andere, neben der Substanz erwähnte Temperatur bezogen, so daß alsdann $V_t = V_\tau [1 + a(t - \tau) + b(t - \tau)^2 + c(t - \tau)^3 + d(t - \tau)^4]$ ist.

Substanz	Temperatur	a	b	c	d	Beobachter
		0.000	0.0000	0.00000	0·00000000	
Antimon	11— 98°	02770	000397	—	—	Matthiessen
Blei	14— 94°	08177	000222	—	—	„
Cadmium	8— 95°	08078	00140	—	—	„
Gold	9— 95°	04075	000336	—	—	„
Kalium, fest	10— 95°	23935	0020925	—	—	Hagen
„ flüssig, bez. auf 62·1°	0— 95°	2991	—	—	—	„
Kupfer	98—169°	04443	000555	—	—	Matthiessen
Natrium, fest	0— 50°	20395	002423	—	—	Hagen
„ flüssig, bez. auf 97·6°	62—110°	2781	—	—	—	„
Palladium	8— 98°	03032	000280	—	—	Matthiessen
Phosphor, fest	8— 43°	383	—	—	—	Kopp
„ „	0— 40°	200	00115	—	—	Pisati u. de Franchis
„ flüssig, bez. auf 44°	48— 60°	532	—	—	—	Kopp
„ „ „ „ 50°	50—280°	2969	002115	—	—	Pisati u. de Franchis
Platin	9— 97°	02554	000104	—	—	Matthiessen
Schwefel, rhombisch	0— 90°	10458	026588	—0014673	—	Kopp
„ bezogen auf 78°	90—110°	—83804	78789	—	—	„
Silber	8— 97°	05426	000405	—	—	Matthiessen
Wismuth	9— 96°	03502	000446	—	—	„
Zink	9— 96°	08222	000706	—	—	„

Substanz	Temperatur	a	b	c	d	Beobachter
Zinn	8— 95°	06100	000789	—	—	Matthiessen
Rose's Legierung (2 Bi + 1Sn + 1Pb) fest	5— 94°	067847	—018155	0055307	—05256	Kopp
Rose's Legierung, flüssig, bez. auf 98°	103—110°	4435	—	—	—	"
Messing (71 Cu + 29 Zn)	10—97°	01720	000019	—	—	Matthiessen
Glas	0—100°	02584	—	—	—	Dulong & Petit
"	0—200°	02756	—	—	—	" "
"	0—300°	03040	—	—	—	" "
" weiß	0—100°	02500	—	—	—	Smeaton
" Röhre	0—100°	02227	—	—	—	Roy
" Stab	0—100°	02425	—	—	—	"
" weiß, Röhre	0—100°	02648	—	—	—	Régnault
" dasselbe, Kugel von 46 *mm* Durchmesser	0—100°	02592	—	—	—	"
" dasselbe, Kugel von 33 *mm* Durchmesser	0—100°	02514	—	—	—	"
" Ballon A	0—100°	02304	—	—	—	"
" " C	0—100°	02349	—	—	—	"
" ordinär	10°	02554	—	—	—	Recknagel
" "	50°	02646	—	—	—	"
" "	100°	02761	—	—	—	"
" "	150°	02877	—	—	—	"
" "	200°	02992	—	—	—	"
" französisch, weiß, bleihaltig	0—100°	02616	—	—	—	Lavoisier & Laplace

Glas, Röhren, ohne Blei	0—100°	02691	—	—	—	Lavoisier & Laplace
„ weich, französisch	0—100°	02530	—	—	—	Kopp
„ „ „ Röhre	18—99°	0260	—	—	—	„
Glas, weiß, französisch	0— 99°	02553	—	—	—	„
„ grün, Röhren	0—100°	02299	—	—	—	Régnault
„ desgleichen, Kugel von 36 mm Durchmesser	0—100°	02132	—	—	—	„
„ englisches Flintglas	0—100°	02435	—	—	—	Lavoisier & Laplace
„ schwedisch, Röhre	0—100°	02363	—	—	—	Régnault
„ desgleichen, Kugel von 34 mm Durchmesser	0—100°	02441	—	—	—	„
„ desgleichen, Kugel von 32 mm Durchmesser	0—100°	02411	—	—	—	„
„ gewöhnliches Krystallglas, Röhre	0—100°	02101	—	—	—	„
„ desgleichen, Kugel von 39 mm Durchmesser	0—100°	02330	—	—	—	„
„ Spiegelglas von St. Gobain	0—100°	02673	—	—	—	Lavoisier & Laplace
„ Spiegelglas von St. Gobain	40°	02331	—	—	—	Fizeau
„ 3 Sand + 2 Blei + 1 Alkali	0—100°	02187	—	—	—	Matthiessen
„ unschmelzbar, französische Röhre	0—100°	02142	—	—	—	Régnault.
„ desgleichen, Kugel von 32 mm Durchmesser	0—100°	02242	—	—	—	„
„ hartes, franz. Kaliglas	0—100°	02091	—	—	—	Kopp
Eis	—	07354	—	—	—	Heinrich

Substanz	Temperatur	a	b	c	d	Beobachter
		0·000	0·0000	0·00000	0 00000000	
Eis	—20bis—1°	1125	—	—	—	Brunner
″	—12 ″ 0°	1050	—	—	—	Marchand
″	-27_5 b.—1°	1590	—	—	—	Struve
″	—26 ″ —2°	15425	—	—	—	″
″	—24 ″ —3°	—157236	001041	—	—	v. Schumacher
Schwefel, geschmolzen	110—130°	622	—	—	—	Despretz
″ ″	110—150°	581	—	—	—	″
″ ″	110—200°	454	—	—	—	″
″ ″	110—250°	428	—	—	—	″
Chlorcalcium, $Ca\ Cl_2 + 6\ H^2O$, fest	11—26°	6451	—5377	1906	—	Kopp
Chlorcalcium, flüssig, bezogen auf 29°	31—54°	438	—	—	—	″
Natriumphosphat, $Na_2HPO_4 + 12\ H_2O$, fest	5—33°	083089	—047099	017974	—	″
Natriumphosphat, flüssig, bezogen auf 35°	37—68°	435	—	—	—	″
Natrium hyposulfit, $Na_2S_2O_3 + 5H^2O$, fest	10—42°	13241	—035680	0088615	—	″
Natrium hyposulfit, flüssig, bezogen auf 45°	54—71°	428	—	—	—	″
Chlorsilber	40°	09881	—	—	—	Fizeau
Bromsilber	40°	10406	—	—	—	″
Jodquecksilber	40°	07163	—	—	—	″
Jodblei	40°	10079	—	—	—	″
Jodcadmium	40°	08748	—	—	—	″

		0·000				
Chlorkalium	40°	11408	—	—	—	Fizeau
Steinsalz	40°	12117	—	—	—	"
Salmiak	40°	18764	—	—	—	"
Bromkalium	40°	12602	—	—	—	"
Jodkalium	40°	12796	—	—	—	"
Flußspath	14—47°	06235	—	—	—	Kopp
"	40°	05734	—	—	—	Fizeau
Bleiglanz	14—48°	0680	—	—	—	Kopp
"	40°	06042	—	—	—	Fizeau
Schwefelkies	40°	02722	—	—	—	"
		0·00				Rodwell
Paraffin	0—16°	031985	—	—	—	"
"	16—38°	039090	—	—	—	
"	38—49°	143118	—	—	—	"
"	49—61°	244358	—	—	—	"
Wachs, gebleicht	10—26°	0743	—	—	—	Kopp
" "	26—31°	0772	—	—	—	"
" "	21—43°	1459	—	—	—	"
" "	43—57°	4568	—	—	—	"
" " fest	10—57°	10700	—55801	12237	—	"
" " flüssig, bezogen auf 64°	66—80°	0866	—	—	—	"

XIII. Absolute Ausdehnung des Quecksilbers nach Régnault's Messungen berechnet von A. Wüllner.

Temperatur nach dem Luftthermometer T	Ausdehnung der Volumeinheit von 0° bis T°	Mittlerer Ausdehnungs-Coëfficient von 0° bis T°	Wahrer Ausdehnungs-Coëfficient bei T°	Temperatur berechnet aus der absoluten Ausdehnung des Quecksilbers = T¹	Differenz T—T¹
0°	0·000000	0·00000000	0·00018116	0°	0
20°	0·003628	0·00018140	0·00018165	19·876	+ 0·124
40°	0·007266	0·00018166	0·00018219	39·809	+ 0·191
60°	0·010916	0·00018194	0·00018279	59·805	+ 0·195
80°	0·014581	0·00018226	0·00018353	79·883	+ 0·117
100°	0·018253	0·00018253	0·00018411	100	0
140°	0·025648	0·00018320	0·00018565	140·514	— 0·514
180°	0·033108	0·00018393	0·00018738	181·383	— 1·383
200°	0·036864	0·00018432	0·00018832	201·961	— 1·961
240°	0·044440	0·00018517	0·00019039	243·467	— 3·467
280°	0·052098	0·00018606	0·00019262	285·421	— 5·421
300°	0·055961	0·00018653	0·00019381	306·583	— 6·583

XIV. Dichte und Volumina des Wassers aus den Beobachtungen von Kopp, Despetz, Hagen und Matthiessen. berechnet von F. Rosetti.

Temperatur	Wasser bei 0° = 1 gesetzt		Wasser bei 4° = 1 gesetzt		Temperatur
	Dichte	Volum	Dichte	Volum	
— 10°*)	0·998274	1·001729	0·998145	1·001858	— 10°*)
— 9°*)	8556	1449	8427	1575	— 9°*)
— 8°*)	8814	1191	8685	1317	— 8°*)
— 7°*)	9040	0963	8911	1089	— 7°*)
— 6°*)	9247	0756	9118	0883	— 6 *)
— 5°*)	9428	0573	9298	0702	— 5 *)
— 4°*)	9584	0416	9455	0545	— 4 *)
— 3 *)	9719	0281	9590	0410	— 3 *)
— 2 *)	9882	0168	9703	0297	— 2 *)
— 1 *)	9926	0074	9797	0203	— 1 *)
0	1·000000	1·000000	0·999871	1·000129	0
+ 1	0057	0·999943	9928	0072	+ 1
2	0098	9902	9969	0031	2

*) Flüssig.

Temperatur	Wasser bei 0° = 1 gesetzt		Wasser bei 4° = 1 gesetzt		Temperatur
	Dichte	Volum	Dichte	Volum	
+ 3°	1·000120	0·999880	0·999991	1·000009	+ 3
4	0129	9871	1·000000	1·000000	4
5	0119	9881	0·999990	0010	5
6	0099	9901	9970	0030	6
7	0062	9938	9933	0067	7
8	0053	9985	9886	0114	8
9	0·999953	1·000047	9824	0176	9
10	0·999876	1·000124	0·999747	1·000253	10
11	9784	0216	9655	0345	11
12	9678	0322	9549	0451	12
13	9559	0441	9430	0570	13
14	9429	0572	9299	0701	14
15	9289	0712	9160	0841	15
16	9131	0870	9002	0999	16
17	8970	1031	8841	1160	17
18	8782	1219	8654	1348	18
19	8588	1413	8460	1542	19
20	0·998388	1·001615	0·998259	1·001744	20
21	8176	1828	8047	1957	21
22	7956	2048	7828	2177	22
23	7730	2276	7601	2405	23
24	7495	2511	7367	2641	24
25	7249	2759	7120	2888	25
26	6994	3014	6866	3144	26
27	6732	3278	6603	3408	27
28	6460	3553	6331	3682	28
29	6179	3835	6051	3965	29
30	0·995894	1·004123	0·995765	1·004253	30
31	560	442	547	455	81
32	530	473	517	486	32
33	498	505	485	518	33
34	465	538	452	551	34
35	431	572	418	586	35
36	396	608	383	671	36
37	360	645	347	657	37
38	323	682	310	694	38
39	286	719	273	732	39
40	0·99248	1·00757	0·99235	1·00770	40
41	210	796	197	809	41
42	171	836	158	849	42
43	131	876	118	889	43
44	091	917	078	929	44
45	050	958	037	971	45
46	009	1·01001	0·98996	1·01014	46

Temperatur	Wasser bei 0° = 1 gesetzt		Wasser bei 4° = 1 gesetzt		Temperatur
	Dichte	Volum	Dichte	Volum	
+ 47°	0·98967	1·01044	0·98954	1·01057	+ 47°
48	923	088	910	101	48
49	878	134	865	148	49
50	0·98832	1·01182	0·98819	1·01195	50
51	785	230	772	243	51
52	737	279	725	292	52
53	689	328	677	341	53
54	642	377	629	390	54
55	594	426	581	439	55
56	547	475	534	488	56
57	499	524	486	537	57
58	450	574	437	587	58
59	401	625	388	638	59
60	0·98350	1·01678	0·98338	1·01691	60
61	299	731	286	744	61
62	247	789	234	798	62
63	194	839	182	852	63
64	140	859	128	908	64
65	086	951	074	964	65
66	036	1·02008	019	1·02021	66
67	0·97977	065	0·97964	078	67
68	921	124	908	137	68
69	864	183	851	196	69
70	0.97807	1·02243	0·97794	1·02256	70
71	749	303	736	316	71
72	690	365	677	378	72
73	631	427	618	440	73
74	571	490	598	503	74
75	511	553	498	566	75
76	450	617	438	630	76
77	389	681	377	694	77
78	328	745	316	758	78
79	267	809	255	822	79
80	0·97206	1·02874	0·97194	1·02887	80
81	145	939	132	952	81
82	083	1·03005	070	1·03018	82
83	020	072	007	085	83
84	0·96956	139	0·96943	153	84
85	892	207	879	221	85
86	828	276	815	289	86
87	764	345	751	358	87
88	699	414	687	427	88
89	634	484	662	497	89
90	0·96568	1·03554	0·96556	1·03567	90

Temperatur	Wasser bei 0° = 1 gesetzt		Wasser bei 4° = 1 gesetzt		Temperatur
	Dichte	Volum	Dichte	Volum	
+ 91°	0·96502	1·03625	0·96490	1·03638	+ 91°
92	435	697	423	710	92
93	368	770	356	782	93
94	300	844	288	856	94
95	241	918	219	931	95
96	161	993	149	1·04006	96
97	091	1·04069	079	082	97
98	020	145	008	158	98
99	0·95949	222	0·95937	235	99
100	0·95879	1·04299	0·95866	1·04312	100

XV. Wasservolumina nach verschiedenen Beobachtern.

(Wasser bei 4° = 1 gesetzt.)

Temperatur	Mittelst Dilatometers bestimmt von					Mittelst der hydrostatischen Wage bestimmt von	
	Kopp	Desprez	Jolly	Pierre	Rosetti	Hagen	Mat-thiessen
0°	1·000123	1·000127	1·000126	1·000118	1·000136	1·000127	—
10°	1·000247	1·000268	1·000257	1·000271	1·000246	1·000269	1·000271
15°	1·000818	1·000875	1·000847	1·000850	1·000833	1·000849	1·000892
20°	1·001690	1·001790	1·001732	1·001717	1·001742	1·001721	1·001814
30°	1·004187	1·004380	1·004234	1·004195	1·004275	1·004250	1·004345
40°	1·007654	1·007730	1·007627	1·007636	1·007738	1·007711	1·007730
50°	1·011890	1·012050	1·011877	1·011939	1·011907	1·011994	1·011963
60°	1·016715	1·016980	1·016954	1·017243	1·016861	1·017009	1·016964
70°	1·022371	1·022550	1·022384	1·023064	1·022529	1·022675	1·022648
80°	1·028707	1·028850	1·029003	1·029486	1·028836	1·028932	1·028953
90°	1·035524	1·035660	1·035829	1·036421	1·035662	1·035715	1·035813
100°	1·043114	1·043150	1·043116	1·043777	1·043116	1·042969	1·043150

XVI. Volum des flüssigen Wassers über 100°

(bei 10·5 *m* Quecksilberdruck) nach Hirn.

Temperatur	Volum des Wassers
0°	1·00000
100°	1·04315
120°	1·05992
140°	1·07949
160°	1·12678
180°	1·15899



XVII. Formeln für die kubische Ausdehnung einiger flüssige[r] Körper bei verschiedenen Temperaturen.

Körper	Temperatur	Formel	Beobachter
Wasser	0°—25°	(Volum desselben bei 0° = 1) $V = 1 - 0{\cdot}000061045\ t + 0{\cdot}0000077183\ t^2 - 0{\cdot}00000003734\ t^3$	Kopp
	25°—50°	$V = 1 - 0{\cdot}000065415\ t + 0{\cdot}00000775887\ t^2 - 0{\cdot}000000035408\ t^3$	"
	50°—75°	$V = 1 + 0{\cdot}00005916\ t + 0{\cdot}0000031849\ t^2 + 0{\cdot}0000000072848\ t^3$	"
	75°—100°	$V = 1 + 0{\cdot}00008645\ t + 0{\cdot}0000031892\ t^2 + 0{\cdot}0000000024487\ t^3$	"
	—15°—0°	$V = 1 - 0{\cdot}00009417\ t + 0{\cdot}000001449\ t^2 - 0{\cdot}0000005985\ t^3$	Frankenh[eim] nach Pierre[illegible]
	4°—32°	(Volum des Wassers bei 4° C. = 1) $V = 1 - 0{\cdot}0000025800\,(t-4) + 0{\cdot}0000083890\,(t-4)^2 - 0{\cdot}00000007173\ (t-4)^3$	Matthies[sen]
	32°—100°	$V = 0{\cdot}999695 + 0{\cdot}0000054724\ t^2 - 0{\cdot}000000011260\ t^3$	"
	28°—50°	(Volum des Wassers bei 0° = 1) $V = 1 + 0{\cdot}00006659\ t - 0{\cdot}000002277\ t^2 + 0{\cdot}000000021264\ t^3 - 0{\cdot}0000000019644\ t^4$	Heinrici
	50°—80°	$V = 1 - 0{\cdot}00030419\ t + 0{\cdot}0000194546\ t^2 - 0{\cdot}00000022645\ t^3 + 0{\cdot}00000000108731\ t^4$	"
	80°—100°	$V = 1 - 0{\cdot}00006468\ t + 0{\cdot}0000067561\ t^2 - 0{\cdot}000000017994\ t^3$	"
	—5°—100°	(Volum des Wassers bei 4° C. = 1) $V = 1 + A\,(t-4)^2 - B\,(t-4^0)^{2\cdot6} + C\,(t-4^0)^3$ worin $A = 0{\cdot}00000837991$ $B = 0{\cdot}000000378702$ $C = 0{\cdot}0000000224329$ zu setzen ist.	Rosetti
Brom	—	(specifisches Gewicht = 3·1872) $V_t = V_0\,(1 + 0{\cdot}00103818\ t + 0{\cdot}0000017114\ t^2 + 0{\cdot}000000005447\ t^2)$	Pierre
wässrige Schwefelsäure	—	(specifisches Gewicht = 1·755) $V_t = V_0\,(1 + 0{\cdot}000626\ t - 0{\cdot}00000048836\ t^2 + 0{\cdot}000000002795\ t^3)$	Kopp
Alkohol	0°—79·8°	(spec. Gewicht = 0·80950; Siedepunkt = 78·4° C.) $V_t = V_0\,(1 + 0{\cdot}00104139\ t + 0{\cdot}0000007836\ t^2 + 0{\cdot}000000017618\ t^3)$	"

Temperatur	Formel	Beobachter
0°—160°	(starker) $V_t = V_0 (1 + 0{\cdot}00073892265\,t + 0{\cdot}00001055235\,t^2 + 0{\cdot}000000092480842\,t^3 + 0{\cdot}00000000040413567\,t^4)$	Hirn
0°—32°	(spec. Gewicht = 0·73658; Siedepunkt = 34·9°.) $V_t = V_0 (1 + 0{\cdot}00148026\,t + 0{\cdot}00000350316\,t^2 + 0{\cdot}000000027007\,t^3)$	Kopp
0°—120°	$V_t = V_0 (1 + 0{\cdot}0013489059\,t + 0{\cdot}0000065537\,t^2 - 0{\cdot}000000034490756\,t^3 + 0{\cdot}00000000033772062\,t^4)$	Hirn

VIII. Ausdehnungscoëfficienten α der Gase zwischen 0° und 100°

(bei constantem Drucke nach Landolt & Börnstein „phys.-chem. Tabellen“).

Substanz	Druck	Ausdehnungs-Coëfficient α	Beobachter
Luft	760 *mm*	0·0 036706	Régnault
„	2525 „	036944	„
„	2620 „	036964	„
„	— „	03681	Mendelejeff
Wasserstoff	760 „	036613	Régnault
„	2545 „	036616	„
Stickoxydul, N^2O	1 Atm.	037195	„
Kohlenoxyd, CO	1 „	036688	„
Kohlensäure, CO^2	760 *mm*	037099	„
„	2520 „	038455	„
„ (6°, τ = 6°)*)	1 Atm.	03629	Andrews
„ (0 — 64°)	12988 *mm*	05136	„
„ (64 — 100°	12988 „	04747	„
„ (0 — 7·5°)	18856 „	0700	„
„ (0 — 64°)	18856 „	06204	„
„ (64 — 100°)	18856 „	05435	„
„ (0 — 75°)	26212 „	1097	„

*) α bedeutet hier nicht wie gewöhnlich den Volumenzuwachs für 0°, dividiert durch das Volum unter Atmosphärendruck bei 0°, sondern durch dasjenige bei einer andern hier angeführten Temperatur τ.

Substanz	Druck	Ausdehnungs-Coëfficient α	Beobachter
Kohlensäure (64 — 100°)	26212 *mm*	0·0 06574	Andrejos
„ (* 64 — 100°, τ = 64°)	46·5 Atm.	04946	„
„ (* 64 — 100°, τ = 64°)	106·9 „	13150	„
„ (* 64 — 100°, τ = 64°)	223 „	08402	„
Schweflige Säure SO^2	760 *mm*	039028	Régnault
„	980 „	039804	„
„ (* 0 — 10°, τ = 10°)	1 Atm.	0413	Amagat
„ (* 25° τ = 25°)	1 „	0394	„
„ (* 50°, τ = 50°)	1 „	03846	„
„ (* 100°, τ = 100°)	1 „	03757	„
„ (* 200°, τ = 200°)	1 „	03695	„
„ (* 250°, τ = 250°)	1 „	03685	„
Wasserdampf 0 bis 119°	1 „	04187	Hirn
0 „ 141°	1 „	04189	„
0 „ 162°	1 „	04071	„
0 „ 200°	1 „	03938	„
0 „ 247°	1 „	03799	„

XIX. Spannungs-Coëfficienten (α^1) **der Gase (Ausdehnungs-Coëfficienten der Gase bei constantem Volum) zwischen 0° und 100°** (nach Landolt & Börnstein: „chem.-phys. Tabellen“).

Substanz	Druck	Spannungs-Coëfficient α'	Beobachter
Luft	756 bis 833 *mm*	0·0 036700**)	Magnus
„	110 „ 149 „	036482	Régnault
„	147 „ 237 „	036513	„
„	375 „ 511 „	036580	„
„	760 *mm*	036650	„
„	2000 „	036903	„
„	10000 „	037927	„
„	20000 „	038866	„
„	50000 „	040336	„
„	100000 „	041001	„
„	760 „	036694**)	„
„	723 bis 981 *mm*	036702**)	Jolly
Sauerstoff, 21 bis 98°	1 Atm.	036743	„
Stickstoff	1 „	036682	Régnault

Substanz	Druck	Spannungs-Coëfficient α'	Beobachter
Stickstoff, 22—98°	1 Atm.	0·0 036677	Jolly
Wasserstoff	749—1010 *mm*	036593***)	Magnus
"	1 Atm.	036678	Régnault
" 21—98°	1 "	036562	Jolly
Stickoxydul, N_2O	1 "	036757	Régnault
" 22—98°	1 "	037067	Jolly
Kohlenoxyd, CO	1 "	036667	Régnault
Kohlensäure, CO°	763—1049 *mm*	036936***)	Magnus
" 20—98°	1 Atm.	037060	Jolly
"	758—1035 *mm*	036856	Régnault
"	1743—2388 "	037523	"
"	7927 *mm*	042519	"
" 0— 64°	12479 "	04754	Andrews
" 0— 6·5°	19661 "	0588	"
" 0— 64°	19661 "	05728	"
" 64—100°	19661 "	05406	"
" *)64—100° τ = 64°	35— 40 Atm.	03956	"
" *)64—100° τ = 64°	94—119 "	07018	"
Schwefl. Säure, SO^2	765—1060 *mm*	038591***)	Magnus
"	1 Atm.	038453	Régnault

*) α' bedeutet hier nicht, wie gewöhnlich den Druckzuwachs für 1°, dividirt durch das Volum unter Atmosphärendruck bei 0°, sondern durch dasjenige bei einer andern hier angeführten Temperatur τ

**) Umgerechnet von Mendelejeff mit Rücksicht auf absolute Quecksilberausdehnung und geographische Breite.

***) Umgerechnet vom Siedepunkt des Wassers bei 28 Zoll (99·924°) auf den bei 760 *mm* Quecksilberdruck (100°).

XX. Tafel für die Werthe 1 + 0·00367 t

(zur Reduction von Gasvolumen nach der Formel $V_0 = \left(\frac{V}{1 + \cdot 00367t} \cdot \frac{b}{760}\right)$ sowie zur Berechnung der Gasdichte nach der Formel $d_0 = \left[d\,(1 + 0 \cdot 00367\,t)\frac{760}{b}\right]$, respective $d = \frac{d_0}{1 + 0 \cdot 00367t} \cdot \frac{b}{760}$

Temperatur ^{0}	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)	Temperatur ^{0}	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)
—2·0°	0·99266	9·99681—10	16·0°	872	478
1·5	449	760—10	16·5	1·06056	553
1·0	633	841—10	17·0	289	628
0·5	816	920—10	17·5	423	703
0·0	1·00000	0·00000	18·0	606	778
+0·5	184	080	18·5	790	853
1·0	367	159	19·0	973	927
1·5	551	239	19·5	1·07157	0·03002
2·0	734	318	20·0	340	076
2·5	918	397	20·5	524	140
3·0	1·01101	476	21·0	707	224
3·5	285	555	21·5	891	298
4·0	468	633	22·0	1·08074	0·03372
4·5	652	712	22·5	258	446
5·0	835	790	23·0	441	519
5·5	1·02019	868	23·5	625	593
6·0	202	946	24·0	808	666
6·5	386	0·01024	24·5	992	739
7·0	569	102	25·0	1·09175	812
7·5	753	179	25·5	359	885
8·0	936	257	26·0	542	958
8·5	1·03120	334	26·5	726	0·04031
9·0	303	411	27·0	909	103
9·5	487	489	27·5	1·10093	176
10·0	1·03670	0·01565	28·0	276	248
10·5	854	642	28·5	460	321
11·0	1·04037	719	29·0	643	392
11·5	221	796	29·5	827	466
12·0	404	862	30·0	1·11010	536
12·5	588	948	30·5	194	608
13·0	771	0·02024	31·0	377	679
13·5	955	090	31·5	561	751
14·0	1·05138	176	32·0	744	822
14·5	322	252	32·5	928	894
15·0	505	327	33·0	1·12111	965
15·5	689	403	33·5	295	0·05036

Temperatur °C.	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)	Temperatur °C.	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)
34·0°	1·12478	0·05107	71°	1·26057	0·10057
34·5	662	178	72	424	183
35·0	845	248	73	791	309
35·5	1·13029	319	74	1·27158	434
36·0	212	389	75	525	559
36·5	396	459	76	892	684
37·0	579	530	77	1·28259	809
37·5	736	600	78	626	933
38·0	946	670	79	993	0·11057
38·5	1·14040	706	80	1·29360	180
39·0	313	810	81	727	303
39·5	497	879	82	1·30094	426
40·0	680	949	83	461	548
41	1·15047	0·06088	84	828	670
42	414	226	85	1·31195	792
43	781	364	86	562	913
44	1·16148	501	87	929	0·12034
45	515	638	88	1·32296	155
46	882	775	89	663	275
47	1·17249	911	90	1·33030	395
48	616	0·07049	91	397	515
49	983	182	92	764	634
50	1·18350	317	93	1·34131	753
51	717	451	94	498	873
52	1·19084	585	95	865	990
53	451	719	96	1·35232	0·13108
54	818	852	97	599	226
55	1·20185	985	98	966	343
56	552	0·08117	99	1·36333	460
57	919	241	100	700	577
58	1·21286	389	101	1·37067	693
59	653	512	102	434	809
60	1·22020	0·08643	103	801	925
61	387	772	104	1·38168	0·14041
62	754	903	105	535	156
63	1·23121	0·09033	106	902	271
64	488	162	107	1·39269	385
65	855	291	108	636	499
66	1·24222	420	109	1·40003	613
67	589	548	110	370	727
68	956	676	111	737	847
69	1·25323	803	112	1·41104	954
70	690	930	113	471	0·15067

Temperatur °C.	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)	Temperatur °C.	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)
114°	1·41838	0·15179	157°	619	761
115	1·42205	291	158	986	862
116	572	0·15403	159	1·58353	963
117	939	515	160	720	0·20063
118	1·43306	626	161	1·59087	163
119	673	737	162	454	263
120	1·44040	848	163	821	363
121	407	999	164	1·60188	463
122	774	0·16069	165	555	562
123	1·45141	179	166	922	661
124	508	289	167	1·61289	760
125	875	398	168	656	859
126	1·46242	507	169	1·62023	958
127	609	616	170	390	1·21056
128	976	725	171	757	154
129	1·47343	833	172	1·63124	252
130	710	941	173	491	350
131	1·48077	0·17041	174	858	447
132	444	156	175	1·64225	544
133	811	263	176	592	641
134	1·49178	370	177	959	738
135	545	477	178	1·65326	834
136	912	584	179	693	930
137	1·50279	690	180	1·66060	0·22026
138	646	796	181	427	122
139	1·51013	902	182	794	218
140	380	0·18007	183	1·67161	314
141	747	112	184	528	409
142	1·52114	217	185	895	504
143	481	322	186	1·68262	599
144	848	426	187	629	693
145	1·53215	530	188	996	787
146	582	634	189	1·69363	882
147	949	738	190	730	976
148	1·54316	841	191	1·70097	0·23070
149	683	944	192	464	163
150	1·55050	0·19047	193	831	257
151	417	150	194	1·71198	350
152	784	252	195	565	443
153	1·56151	354	196	932	536
154	518	456	197	1·72299	628
155	885	558	198	666	721
156	1·57252	660	199	1·73033	813

Temperatur °C.	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)	Temperatur °C.	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)
200°	1·73400	0·23905	243°	1·89181	688
201	767	997	244	548	772
202	1·74134	0·24088	245	915	856
203	501	180	246	1·90282	0·27940
204	868	271	247	649	0·28023
205	1·75235	362	248	1 91016	107
206	602	453	249	383	190
207	969	544	250	750	274
208	1·76336	634	251	1·92117	357
209	703	724	252	484	439
210	1·77070	814	253	851	522
211	437	904	254	1·93218	605
212	808	994	255	585	687
213	1·78171	0·25084	256	952	769
214	538	173	257	1·94319	851
215	905	262	258	686	933
216	1·79272	351	259	1·95053	0·29015
217	639	440	260	420	097
218	1·80006	529	261	787	178
219	373	617	262	1·96154	260
220	740	705	263	521	341
221	1·81107	793	264	888	422
222	474	881	265	1·97255	503
223	841	969	266	622	584
224	1·82208	0·26057	267	989	664
225	575	144	268	1·98356	745
226	942	231	269	723	825
227	1·83309	318	270	1·99090	905
228	676	405	271	457	985
229	1·84043	492	272	824	0·30064
230	410	578	273	2·00191	144
231	777	665	274	558	224
232	1·85144	751	275	925	303
233	511	837	276	2·01292	383
234	878	922	277	659	462
235	1·86245	0·27008	278	2·02026	541
236	612	094	279	393	620
237	979	179	280	760	698
238	1·87346	264	281	2·03127	776
239	713	349	282	494	855
240	1·88080	434	283	861	933
241	447	519	284	2·04228	0·31011
242	814	603	285	595	089

Temperatur C°	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)	Temperatur C°	1 + 0·00367	log. (1 + 0·00367)
286°	2·04962	0·31167	321°	807	807
287	2·05329	245	322	2·18174	880
288	696	323	323	541	953
289	2·06063	400	324	908	0·34026
290	430	477	325	2·19275	099
291	797	544	326	642	172
292	2·07164	631	327	2·20009	244
293	531	708	328	376	316
294	898	785	329	743	389
295	2·08265	862	330	2·21110	461
296	632	938	331	477	533
297	999	0·32014	332	844	605
298	2·09366	091	333	2·22211	677
299	773	167	334	578	748
300	2·10100	243	335	945	820
301	467	318	336	2·23312	891
302	834	394	337	679	963
303	2·11201	469	338	2·24046	0·35034
304	568	545	339	413	105
305	935	620	340	780	176
306	2·12302	695	341	2·25147	247
307	669	770	342	514	317
308	2·13036	845	343	881	388
309	403	920	344	2·26248	458
310	770	995	345	615	529
311	2·14137	0·33069	346	982	599
312	504	144	347	2·27349	669
313	871	218	348	716	739
314	2·15238	292	349	2·28083	808
315	605	366	350	450	879
316	972	440	357·25	2·31111	0·36682
317	2·16339	513	440	2·61480	0·41744
318	706	587	860	4·15620	0·61870
319	2·17073	661	1050	4·81680	0·68276
320	440	734			

XXI. Tafel der Werthe von $\frac{b}{760}$.

[zu]r Reduction von Gasvolumen nach der Formel $V_0 = \frac{V}{1 + 0{\cdot}00367} \frac{b}{760}$

sowie zur Berechnung der Gasdichte nach der Formel

$d_0 = d\,(1 + 0{\cdot}00367)\,\frac{760}{b}$, respective $d = \frac{d_0}{1 + 0{\cdot}00367\,t} \cdot \frac{b}{760}$.

b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$	b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$
1	0·0013	7·1192—10	35	0·0461	8·6633—10
2	026	4202	36	474	6755
3	039	5963	37	487	6874
4	053	7213	38	500	6990
5	066	8182	39	513	7103
6	079	8973	40	526	7213
7	092	9643	41	0·0540	8·7320—10
8	105	8·0223	42	553	7424
9	118	0734	43	566	7527
10	132	8·1192—10	44	579	7626
11	0·0145	1606	45	592	7724
12	158	1984	46	605	7820
13	171	2331	47	618	7913
14	184	2653	48	632	8004
15	197	2953	49	645	8094
16	211	3233	50	658	8182
17	224	3496	51	671	8·8268—10
18	237	3745	52	684	8352
19	250	3980	53	697	8435
20	263	4202	54	711	8516
21	0·0276	8·4414—10	55	724	8596
22	290	4616	56	737	8674
23	303	4809	57	750	8751
24	316	4994	58	763	8826
25	329	5171	59	776	8900
26	342	5342	60	790	8973
27	355	5506	61	0·0803	8·9045—10
28	368	5664	62	816	9116
29	382	5816	63	829	9185
30	395	5963	64	842	9254
31	0·0408	8·6106—10	65	855	9321
32	421	6243	66	868	9387
33	434	6377	67	882	9453
34	447	6507	68	895	9517

b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$	b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$
69	0·0908	8 9580—10	112	0·1474	9·1684—10
70	921	9643	113	487	723
71	0·0934	8·9705—10	114	500	761
72	947	9765	115	513	799
73	961	9825	116	526	837
74	974	9884	117	539	874
75	987	9943	118	552	911
76	0·1000	9·0000—10	119	566	947
77	014	057	120	579	984
78	027	113	121	0·1592	9·2020—10
79	040	168	122	605	056
80	053	223	123	618	091
81	0·1066	9·0277—10	124	631	126
82	079	333	125	644	161
83	092	383	126	658	196
84	105	435	127	671	230
85	119	486	128	684	264
86	132	537	129	697	298
87	145	587	130	710	331
88	158	637	131	0·1724	9·2365—10
89	171	686	132	737	398
90	184	734	133	750	430
91	0·1198	9.0782—10	134	763	463
92	211	830	135	776	495
93	224	877	136	789	527
94	237	923	137	803	559
95	250	969	138	816	591
96	263	9·1015—10	139	829	622
97	276	060	140	842	653
98	289	104	141	0·1855	9·2684—10
99	302	148	142	868	715
100	316	192	143	881	745
101	0·1329	9·1235—10	144	895	776
102	342	278	145	908	806
103	355	320	146	921	835
104	368	362	147	934	865
105	381	404	148	947	895
106	395	445	149	961	924
107	408	486	150	974	953
108	421	526	151	0·1987	9·2982—10
109	434	566	152	0·2000	9·3010—10
110	447	606	153	013	039
111	0·1461	9·1645—10	154	026	067

b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$	b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$
155	0·2039	9·3095—10	198	0·2605	9·4159—10
156	052	123	199	618	180
157	065	151	200	631	202
158	079	179	201	0·2644	9·4224—10
159	092	206	202	658	245
160	105	233	203	671	267
161	0·2118	9·3260—10	204	684	288
162	131	287	205	698	309
163	145	314	206	711	331
164	158	340	207	724	352
165	171	367	208	737	378
166	184	393	209	750	393
167	198	419	210	763	414
168	211	445	211	0·2776	9·4435—10
169	224	471	212	789	455
170	237	496	213	803	476
171	0·2250	9·3522—10	214	816	496
172	263	547	215	829	516
173	276	572	216	843	536
174	289	597	217	856	557
175	302	622	218	869	577
176	316	647	219	882	596
177	329	672	220	895	616
178	342	696	221	0·2908	9·4636—10
179	356	720	222	921	655
180	369	745	223	934	675
181	0·2382	9·3769—10	224	947	694
182	395	793	225	961	714
183	408	816	226	974	733
184	421	840	227	987	752
185	434	864	228	0·3000	771
186	0·2447	887—10	229	013	790
187	460	910	230	026	809
188	474	934	231	0·3040	9·4828—10
189	487	957	232	053	847
190	500	979	233	066	866
191	0·2513	9·4002—10	234	079	884
192	526	025	235	092	903
193	540	048	236	105	921
194	553	070	237	118	939
195	566	092	238	132	958
196	579	115	239	145	976
197	592	137	240	158	994

b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$	b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$
241	0·3171	9·5012—10	284	0·3737	9·5725—10
242	184	030	285	750	740
243	197	048	286	763	756
244	210	066	287	776	771
245	224	084	288	789	786
246	237	101	289	803	801
247	250	119	290	816	816
248	263	136	291	0·3829	9·5831
249	276	154	292	842	846
250	290	171	293	855	861
251	0·3303	9·5189—10	294	868	875
252	316	206	295	882	890
253	329	223	296	895	905
254	342	240	297	908	920
255	355	257	298	921	934
256	368	274	299	934	949
257	382	291	300	948	963
258	395	308	301	0·3961	9·5978—10
259	408	325	302	974	992
260	421	342	303	987	9·6006—10
261	0·3434	9·5358—10	304	0·4000	021
262	447	375	305	013	035
263	461	392	306	026	049
264	474	408	307	039	063
265	487	424	308	053	077
266	500	441	309	066	092
267	513	457	310	079	106
268	526	473	311	0·4092	9·6120—10
269	540	489	312	105	133
270	553	506	313	118	147
271	0·3566	9·5522—10	314	132	161
272	579	538	315	145	175
273	592	554	316	158	189
274	605	569	317	171	203
275	618	585	318	184	216
276	632	601	319	197	230
277	645	617	320	211	243
278	658	632	321	0·4224	9·6257—10
279	671	648	322	237	271
280	684	664	323	250	284
281	0·3697	9·5679—10	324	263	297
282	710	694	325	276	311
283	724	710	326	289	324

b mm	b/760	log. b/760	b mm	b/760	log. b/760
327	0·4302	9·6337—10	370	0·4868	9·6874—10
328	316	351	371	0·4882	9·6886—10
329	329	364	372	895	897
330	342	377	373	908	909
331	0·4355	9·6390—10	374	921	921
332	368	403	375	834	932
333	381	416	376	948	944
334	394	429	377	961	955
335	408	442	378	974	967
336	421	455	379	987	978
337	434	468	380	0·5000	990
338	447	481	381	0·5013	9·7001—10
339	461	494	382	027	013
340	474	507	383	040	024
341	0·4487	9·6520—10	384	053	035
342	500	532	385	066	047
343	513	545	386	079	058
344	526	558	387	092	069
345	540	570	388	105	080
346	553	583	389	118	091
347	566	595	390	132	103
348	579	608	391	0·5145	9·7114—10
349	592	620	392	158	125
350	605	633	393	171	136
351	0·4618	9·6645—10	394	184	147
352	631	657	395	198	158
353	645	670	396	211	169
354	658	682	397	224	180
355	671	694	398	237	191
356	684	706	399	250	202
357	698	719	400	263	213
358	711	731	401	0·5276	9·7223—10
359	724	743	402	289	234
360	737	755	403	303	245
361	0·4750	9·6767—10	404	316	256
362	763	779	405	329	267
363	776	791	406	342	277
364	789	803	407	356	288
365	803	815	408	369	299
366	816	827	409	382	309
367	829	839	410	395	320
368	842	850	411	0·5408	9·7330—10
369	855	862	412	421	341

b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$	b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$
413	0·5434	9·7351—10	456	0·6000	9·7782—10
414	448	362	457	013	791
415	471	372	458	027	801
416	474	383	459	040	810
417	487	393	460	053	820
418	500	404	461	0·6066	9·7829—10
419	513	414	462	079	838
420	526	424	463	092	848
421	0·5540	9·7435—10	464	105	857
422	552	445	465	119	866
423	565	455	466	132	876
424	579	466	467	145	885
425	592	476	468	158	894
426	605	486	469	171	904
427	618	496	470	184	913
428	631	506	471	0·6197	9·7922—10
429	645	517	472	210	931
430	658	527	473	224	941
431	0·5671	9·7537—10	474	237	950
432	684	547	475	250	959
433	697	557	476	263	968
434	710	567	477	276	977
435	724	577	478	290	986
436	737	587	479	303	995
437	750	597	480	316	9·8004—10
438	763	607	481	0·6329	9·8013—10
439	777	617	482	342	022
440	790	626	483	355	031
441	0·5803	9·7636—10	484	369	040
442	816	646	485	382	049
443	829	656	486	395	058
444	842	666	487	408	067
445	855	676	488	421	076
446	868	685	489	434	085
447	882	695	490	447	094
448	895	705	491	0·6461	9·8103—10
449	908	714	492	474	112
450	921	724	493	487	120
451	0·5934	9·7734—10	494	500	129
452	947	743	495	513	138
453	961	753	496	527	147
454	974	763	497	540	156
455	987	772	498	553	164

b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$	b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$
499	0·6566	9·8173—10	542	0·7132	9·8532—10
500	579	182	543	145	540
501	0·6592	9·8190—10	544	158	548
502	606	199	545	171	556
503	619	208	546	184	564
504	632	216	547	197	572
505	645	225	548	211	580
506	658	233	549	224	588
507	671	242	550	237	596
508	684	251	551	0·7250	9·8603—10
509	697	259	552	263	611
510	711	268	553	276	619
511	0·6724	9·8276—10	554	290	627
512	737	285	555	303	635
513	750	293	556	316	643
514	763	302	557	329	651
515	776	310	558	342	658
516	789	318	559	355	666
517	803	327	560	369	674
518	816	335	561	0·7382	9·8682—10
519	829	344	562	395	689
520	842	352	563	408	697
521	0·6855	9·8360—10	664	421	705
522	869	369	565	434	712
523	882	377	566	448	720
524	895	385	567	461	728
525	908	394	568	474	735
526	921	402	569	487	743
527	934	410	570	500	751
528	947	418	571	0·7513	9·8758—10
529	961	427	572	526	766
530	974	435	573	540	773
531	0·6987	9·8443—10	574	553	781
532	0·7000	451	575	566	789
533	013	459	576	579	796
534	026	467	577	592	804
535	040	475	578	605	811
536	053	484	579	619	819
537	066	492	580	632	826
538	079	500	581	0·7645	9·8834—10
539	092	508	582	658	841
540	106	516	583	672	849
541	0·7119	9·8524—10	584	685	856

b mm	b/760	log. b/760	b mm	b/760	log. b/760
585	0·7698	9·8864—10	628	0·8263	9·9172—10
586	711	871	629	276	178
587	724	878	630	289	185
588	737	886	631	0·8303	9·9192—10
589	750	893	632	316	199
590	763	900	633	330	206
591	0·7776	9·8908—10	634	343	213
592	789	915	635	356	220
593	803	922	636	369	227
594	816	930	637	382	233
595	829	937	638	395	240
596	842	944	639	408	247
597	855	952	640	421	254
598	868	959	641	0·8434	9·9261—10
599	882	966	642	447	267
600	895	973	643	461	274
601	0·7908	9·8981—10	644	474	281
602	921	988	645	487	288
603	934	995	646	500	294
604	948	9·9002—10	647	513	301
605	961	010	648	526	308
606	974	017	649	539	314
607	987	024	650	553	321
608	0·8000	031	651	0·8566	9·9328—10
609	013	038	652	579	334
610	026	045	653	592	341
611	0·8040	9·9052—10	654	605	348
612	053	060	655	618	354
613	066	067	656	632	361
614	079	074	657	645	368
615	093	081	658	658	374
616	106	088	659	671	381
617	119	095	660	684	387
618	132	102	661	0·8697	9·9394—10
619	145	109	662	711	401
620	158	116	663	724	407
621	0·8172	9·9123—10	664	737	414
622	185	130	665	750	420
623	198	137	666	763	427
624	211	144	667	776	433
625	224	151	668	790	440
626	237	158	669	803	446
627	250	165	670	816	453

b mm	b/760	log. b/760	b mm	b/760	log. b/760
671	0·8829	9·9459—10	714	9·0395	9·9729—10
672	842	466	715	408	735
673	855	472	716	421	741
674	869	479	717	434	747
675	882	485	718	448	753
676	895	491	719	461	759
677	908	498	720	474	765
678	921	504	721	0·9487	9·9771—10
679	934	511	722	500	777
680	947	517	723	513	783
681	0·8960	9·9523—10	724	526	789
682	974	530	725	539	795
683	987	536	726	552	801
684	0·9000	543	727	566	807
685	013	549	728	579	813
686	026	555	729	592	819
687	040	562	730	605	825
688	053	568	731	0·9618	9·9831—10
689	066	574	732	632	837
690	079	580	733	645	843
691	0·9092	9·9587—10	734	658	849
692	105	593	735	671	855
693	118	599	736	684	861
694	132	606	737	698	867
695	145	612	738	711	873
696	158	618	739	724	9·9878—10
697	171	624	740	737	884
698	184	631	741	0·9750	9·9890—10
699	198	637	742	763	896
700	211	643	743	776	902
701	0·9224	9·9649—10	744	790	908
702	237	655	745	803	914
703	250	662	746	816	919
704	263	668	747	829	925
705	276	674	748	842	931
706	289	680	749	855	937
707	303	686	750	869	943
708	316	692	751	0·9882	0·9948—10
709	329	698	752	895	954
710	342	705	753	908	960
711	0·9355	9·9711—10	754	921	966
712	368	717	755	934	971
713	382	723	756	947	977

b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$	b mm	$\frac{b}{760}$	log. $\frac{b}{760}$
757	0·9961	0·9983—10	799	1·0513	0·02174
758	974	989	800	526	228
759	987	994	801	1·0540	0·02282
760	1·0000	10·0000—10	802	553	336
761	013	0·00057	803	566	391
762	026	114	804	579	445
763	039	171	805	592	499
764	053	228	806	605	553
765	066	285	807	618	606
766	079	342	808	632	660
767	092	399	809	645	714
768	105	455	810	658	768
769	118	512	811	1·0671	0·02821
770	132	568	812	684	875
771	1·0145	624	813	697	928
772	158	681	814	711	981
773	171	737	815	724	0·03035
774	184	793	816	737	088
775	197	849	817	750	141
776	211	905	818	763	194
777	224	961	819	776	247
778	237	0·01017	820	790	300
779	250	073	821	1·0803	0·03353
780	263	128	822	816	406
781	1·0273	0·01184	823	829	459
782	290	240	824	842	512
783	303	295	825	855	564
784	316	351	826	868	617
785	329	406	827	882	670
786	342	461	828	895	722
787	355	516	829	908	774
788	368	572	830	921	827
789	382	627	831	1·0934	0·03879
790	395	682	832	947	931
791	1·0408	0·01737	833	961	984
792	421	792	834	974	0·04036
793	434	846	835	987	088
794	447	901	836	1·1000	140
795	461	956	837	014	192
796	474	0·02010	838	027	243
797	487	065	839	040	295
798	500	119	840	053	347

Tafel XXII. Tabelle zur Reduction des gefundenen Gasvolums auf die Temperatur von 0° C.

nach G. Lunge (Dingl. polit. Jour. 231, 522.)

Das abgelesene Gasvolum wird in den ersten Vertical-Spalten, die bei der Ablesung beobachtete Temperatur in der ersten Horizontal-Spalte aufgesucht, worauf man, von ersterer Zahl aus horizontal nach rechts, von letzter Zahl aus vertical nach unten gehend, die corrigirte Zahl findet, da die Tabelle nur auf ganze Cubikcentimeter (resp. Cubikmeter lautet, die Ablesungen aber meistens auf Decimalen der Cubikcentimeter (respective Cubikmeter) erfolgen, so muß man die Bruchtheile durch eine zweite Aufsuchung completiren, bei welcher — bei sonst gleichem Verfahren, nur eine Verrückung des Decimalzeichens nothwendig wird. Selbstverständlich lassen sich hierbei auch Abrundungen (Correctionen der letzten gebrauchten Decimalstelle) vornehmen.

Angenommen, das gefundene Gasvolum hätte bei 19° Temperatur 11·8 cm^3 (oder m^3 oder Liter) betragen. Dann ergibt die Tabelle die Correctur:

10·28 + 0·7479 = 11·0279 cm^3 (oder m^3 oder Liter)

oder abgerundet:

10·28 + 0·75 = 11·03 = 11·0 cm^3 (od. m^3 od. Liter)

Temper. C.	Gasvolumen								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1·000	2·000	3·000	4·000	5·000	6·000	7·000	8·000	9·000
1	0·996	1·993	2·989	3·985	4·982	5·978	6·974	7·970	8·967
2	0·993	1·985	2·978	3·971	4·964	5·956	6·949	7·942	8·934
3	0·989	1·978	2·967	3·956	4·946	5·935	6·924	7·913	8·902
4	0·986	1·971	2·957	3·942	4·928	5·913	6·899	7·885	8·870
5	0·982	1·964	2·946	3·928	4·910	5·892	6·874	7·856	8·838
6	0·978	1·957	2·936	3·914	4·893	5·871	6·850	7·828	8·807
7	0·975	1·950	2·925	3·900	4·875	5·850	6·825	7·800	8·775
8	0·972	1·943	2·915	3·886	4·858	5·830	6·801	7·773	8·744
9	0·968	1·936	2·904	3·872	4·841	5·809	6·777	7·745	8·713
10	0·965	1·929	2·894	3·859	4·824	5·788	6·753	7·718	8·682
11	0·961	1·923	2·884	3·845	4·807	5·768	6·729	7·690	8·652
12	0·958	1·916	2·874	3·832	4·790	5·747	6·705	7·663	8·621

Temper. °C.	Gasvolumen								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	0·955	1·909	2·864	3·818	4·773	5·728	6·682	7·637	8·591
14	0·931	1·903	2·854	3·805	4·757	5·708	6·659	7·610	8·562
15	0·948	1·896	2·844	3·792	4 740	5·688	6·636	7·584	8·532
16	0·945	1·889	2·834	3·779	4·724	5·668	6·613	7·558	8·502
17	0·941	1·883	2·824	3·766	4·707	5·648	6·590	7·531	8·472
18	0·938	1·876	2·815	3·753	4·691	5 629	6·567	7·506	8·444
19	0·935	1·869	2·805	3·740	4·675	5·609	6·544	7·479	8·414
20	0·932	1·864	2·795	3·727	4·659	5·591	6·523	7·454	8·386
21	0·929	1·857	2·786	3·714	4·643	5·572	6·500	7·429	8·357
22	0·926	1·851	2·777	3·702	4·628	5·553	6·479	7·404	8·330
23	0·922	1·845	2·767	3·690	4·612	5·534	6·457	7·379	8·302
24	0·919	1·889	2·758	3·677	4·597	5·516	6·435	7·354	8 274
25	0·916	1·832	2·749	3·665	4·581	5·497	6·413	7·330	8·246
26	0·913	1·826	2·739	3·652	4·566	5·479	6·392	7·305	8·218
27	0·910	1·820	2·730	3·640	4·551	5·461	6·371	7·281	8·191
28	0·907	1·814	2·721	3·628	4·535	5·442	6·349	7·256	8·163
29	0·904	1·808	2·712	3·616	4·520	5·424	6·328	7·232	8·136

Tafel XXIII. Tabelle zur Reduction des gefundenen Gasvolums auf 760 *mm* Barometerstand

nach G. Lunge, bis 690 *mm* Quecksilberdruck erweitert von Hanns v. Jüptner.

Das abgelesene Gasvolum wird in der ersten Vertical-Spalte, der bei der Ablesung beobachtete Barometerstand in der ersten Horizontalspalte aufgesucht, worauf man, von ersterer Zahl aus horizontal nach rechts, von letzter Zahl aus vertical nach unten gehend, die corrigirte Zahl findet. Vorher muß man, um die Ausdehnung des Quecksilbers im Barometer zu corrigiren, und den Stand desselben auf 0° zu reduciren, für die Beobachtungstemperaturen von 0° bis 12° 1*mm*, für 13 bis 19° 2 *mm*, für 20° bis 25° 3 *mm* von dem am Barometer abgelesenen Drucke abziehen (hiezu kann man sich übrigens auch der Tabelle XXIV bedienen). Um die Tabelle nicht zu umfangreich zu machen, sind nur die Intervalle von je 2 *mm* angegeben, zwischen denen man, wenn es darauf ankommt, leicht interpoliren kann.

Angenommen, das gefundene Gasvolumen hätte bei 736 *mm*)ruck und 17° Temperatur 9·4 *cm*³ (oder sonstige Volum-inheiten) betragen. Dann hat mann zunächst den Barometer-:and um 2 *mm* also auf 734 *mm* zu vermindern, und erhält ann für den Druck die Correction:

·693 + 0·3864 = 9·0794 *cm*³ (oder sonstige Volumeinheiten) der abgerundet

·69 + 0·39 = 9·08 = 9·1 *cm*³ („ „ „)

Um nun auch die auf die Temperatur bezügliche :orrection vorzunehmen, so sucht man die eben gefundene ;ahl, also 9·1 in der Tabelle XXII auf, und findet dann ir 17° Temperatur:

·472 + 0·0941 = 8·5661 *cm*³ (oder sonstige Volumseinheiten) der abgerundet

·47 + 0·09 = 8·56 = 8·6 *cm*³ („ „ „)

Da die Genauigkeit der Ablesung an Gasbüretten und hnlichen Maßapparaten selten weiter als bis zu 0·1 *cm*³ eht, so ist es bei gasanalytischen Arbeiten unnöthig die :hermometer- und Barometerablesungen auf mehr als ganze)rade und Millimeter auszudehnen.

Barometerstand *mm*	Gasvolum								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
690	0·908	1·816	2·724	8 632	4·540	5·447	6·355	7·263	8·171
692	911	821	732	642	553	463	371	281	192
694	913	826	740	658	566	479	392	306	219
696	916	832	747	663	579	495	410	326	242
698	918	837	755	674	592	510	429	347	266
700	921	843	764	685	600	527	448	369	290
702	924	847	771	695	619	542	466	390	313
704	926	853	779	705	632	558	484	410	337
706	929	858	787	716	645	573	502	431	360
708	932	863	795	726	658	590	521	453	384
710	934	868	803	738	672	607	540	474	409
712	937	874	810	747	685	621	558	494	431
714	940	879	818	758	697	637	577	516	456
716	942	884	826	768	711	653	595	537	479

Barometerstand mm	Gasvolum								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
718	0·945	1·890	2·838	3·779	4·724	5·669	6·614	7·558	8·503
720	947	895	842	789	786	684	631	578	526
722	950	900	850	800	750	700	650	600	550
724	953	905	858	810	763	716	668	621	573
726	955	911	866	821	777	732	687	642	597
728	958	916	874	832	790	747	705	663	621
730	961	921	882	842	803	763	724	684	645
732	963	926	889	852	816	779	742	705	668
734	966	932	898	864	830	796	762	728	693
736	968	937	905	874	842	810	779	747	716
738	971	942	913	884	855	826	797	768	739
740	974	947	921	895	868	842	816	790	763
742	976	958	929	905	882	858	834	810	787
744	979	958	937	916	895	874	853	832	811
746	982	963	945	926	908	890	871	853	834
748	984	968	953	937	921	905	889	874	858
750	987	974	960	947	934	921	908	894	881
752	989	979	968	958	947	937	926	916	905
754	992	984	976	968	960	952	944	936	929
756	995	989	984	979	974	968	963	958	952
758	997	995	992	990	987	984	982	979	977
760	1·000	2·000	3·000	4·000	5·000	6·000	7·000	8·000	9·000
762	003	005	007	010	013	016	018	021	023
764	005	011	016	021	026	032	037	042	048
766	008	016	024	032	040	047	055	063	071
768	011	021	032	042	053	063	074	084	095
770	013	026	039	052	066	079	092	106	119

Tafel XXIV. Reduction von an Glasscalen gemessenen Quecksilbersäulen (bei Barometern 2c.)

auf 0° (nach Landolt & Börnstein chem.-phys. Tabellen).

Temper. °C.	Barometerstand in Millimetern							
	600	610	620	630	640	650	660	670
1	0·10	0·11	0·11	0·11	0·11	0·11	0·11	0·12
2	21	21	21	22	22	22	23	23
3	31	32	32	33	33	34	34	35
4	42	42	43	44	44	45	46	46
5	52	53	54	54	55	56	57	58
6	62	63	64	65	66	67	69	70
7	73	74	75	76	78	79	80	81



Temper. °C.	Barometerstand in Millimetern							
	600	610	620	630	640	650	660	670
8	0·83	0·84	0·86	0·87	0·89	0·90	0·91	0·93
9	93	95	97	98	1·00	1·01	1·03	1·04
10	1·04	1·06	1·07	1·09	11	12	14	16
11	14	16	18	20	22	24	26	28
12	25	27	29	31	33	35	37	39
13	35	37	39	42	44	46	48	51
14	45	48	50	53	55	57	60	62
15	56	58	61	63	66	69	71	74
16	66	69	72	74	77	80	83	85
17	76	79	82	85	88	91	94	97
18	87	90	93	96	99	2·02	2·06	2·09
19	97	2·01	2·04	2·07	2·10	14	17	20
20	2·08	11	15	18	21	25	28	32
21	18	22	25	29	33	36	40	43
22	28	32	36	40	44	47	51	55
23	39	43	47	51	55	59	63	67
24	49	53	57	62	66	70	74	78
25	60	64	68	72	77	81	85	90
26	70	74	79	83	88	92	97	3·01
27	80	85	90	94	99	3·04	3·08	13
28	91	95	3·00	3·05	3·10	15	20	25
29	3·01	3·06	11	16	21	26	31	36
30	11	17	22	27	32	37	43	48

Temper. °C.	Barometerstand in Millimetern							
	680	690	700	710	720	730	740	750
1	0·12	0·12	0·12	0·12	0·12	0·13	0·13	0·13
2	24	24	24	25	25	25	26	26
3	35	36	36	37	37	38	38	39
4	47	48	48	49	50	51	51	52
5	59	60	61	61	62	63	64	65
6	71	72	73	74	75	76	77	78
7	82	84	85	86	87	88	90	91
8	94	96	97	98	1·00	1·01	1·02	1·04
9	1·06	1·07	1·09	1·11	12	14	15	17
10	18	19	21	23	25	26	28	30
11	29	31	33	35	37	39	41	43
12	41	43	45	47	49	52	54	56
13	53	55	57	60	62	64	66	69

Temper. °C.	Barometerstand in Millimetern							
	680	690	700	710	720	730	740	750
14	0·65	0·67	0·70	0·72	0·74	0·77	0·79	0·82
15	76	79	82	84	87	89	92	95
16	88	91	94	97	99	2·02	2·05	2·08
17	2·00	2·03	2·06	2·09	2·12	15	18	21
18	12	15	18	21	24	27	30	34
19	24	27	30	33	37	40	43	47
20	35	39	42	46	49	53	56	60
21	47	51	54	58	62	65	69	72
22	59	63	66	70	74	78	82	85
23	71	75	79	83	87	90	94	98
24	82	87	91	95	99	3·03	3·07	3·11
25	94	98	3·03	3·07	3·11	16	20	24
26	3·06	3·10	15	19	24	28	33	37
27	18	22	27	32	36	41	46	50
28	29	34	39	44	49	54	58	63
29	41	46	51	56	61	66	71	76
30	53	58	63	69	74	79	84	89

Temper. °C.	Barometerstand in Millimetern							
	760	770	780	790	800	810	820	830
1	0·13	0·13	0·13	0·14	0·14	0·14	0·14	0·14
2	26	27	27	27	28	28	28	29
3	39	40	40	41	42	42	43	43
4	53	53	54	55	55	56	57	57
5	66	67	67	68	69	70	71	72
6	79	80	81	82	83	84	85	86
7	92	93	94	96	97	98	99	1·01
8	1·05	1·07	1·08	1·09	1·11	1·12	1·13	15
9	18	20	21	23	25	26	28	29
10	31	33	35	37	38	40	42	44
11	45	47	48	50	52	54	56	58
12	58	60	62	64	66	68	70	72
13	71	73	75	78	80	82	84	87
14	84	87	89	91	94	96	99	2·01
15	97	2·00	2·02	2·05	2·08	2·10	2·13	15
16	2·10	13	16	19	21	24	27	30
17	24	26	29	32	35	38	41	44
18	37	40	43	46	49	52	55	58
19	50	53	56	60	63	66	70	73

Temper. C.	Barometerstand in Millimeter							
	760	770	780	790	800	810	820	830
20	2·63	2·66	2·70	2·73	2·77	2.80	2·84	2·87
21	76	80	83	87	91	94	98	3·02
22	89	93	97	3·01	3·05	3·08	3·12	16
23	3·02	3·06	3·10	14	18	22	26	30
24	16	20	24	28	32	36	40	45
25	29	33	37	42	46	50	55	59
26	42	46	51	55	60	64	69	73
27	55	60	64	69	74	78	83	88
28	68	73	78	83	88	92	97	4·02
29	81	86	91	96	4·01	4·06	4·11	16
30	94	4·00	4·05	4·10	15	20	26	31

Temper. C.	Barometerstand in Millimeter							
	840	850	860	870	880	890	900	910
1	0·15	0·15	0·15	0·15	0·15	0·15	0·16	0·16
2	29	29	30	30	30	31	31	31
3	44	44	45	45	46	46	47	47
4	58	59	60	60	61	62	62	63
5	73	74	74	75	76	77	78	79
6	87	88	89	90	91	92	93	94
7	1·02	1·03	1·04	1·05	1·07	1·08	1·09	1·10
8	16	18	19	20	22	23	25	26
9	31	32	34	35	37	39	40	42
10	45	47	49	51	52	54	56	57
11	60	62	64	66	67	69	71	73
12	74	76	79	81	83	85	87	89
13	89	91	93	96	98	2·00	2·02	2·05
14	2·03	2·06	2·08	2·11	2·13	16	18	20
15	18	21	23	26	28	31	34	36
16	33	35	38	41	44	46	49	52
17	47	50	53	56	59	62	65	68
18	62	65	68	71	74	77	80	83
19	76	79	83	86	89	93	96	99
20	91	94	98	3·01	3·05	3·08	3·11	3·15
21	3·05	3·09	3·12	16	20	23	27	31
22	20	24	27	31	35	39	43	46
23	34	38	42	46	50	54	58	62
24	49	53	57	61	65	70	74	78
25	63	68	72	76	81	85	89	94
26	78	82	87	91	96	4·00	4·05	4·08

Temper. C.	Barometerstand in Millimeter							
	840	850	860	870	880	890	900	910
27	3·92	3·97	4·02	4·06	4·11	4·16	4·20	4·25
28	4·07	4·12	17	21	26	31	36	41
29	21	26	32	37	42	47	52	57
30	36	41	46	52	57	62	67	72

Temper. C.	Barometerstand in Millimeter								
	920	930	940	950	960	970	980	990	1000
1	0·16	0·16	0·16	0·16	0·17	0·17	0·17	0·17	0·17
2	32	32	33	33	33	34	34	34	35
3	48	48	49	49	50	50	51	51	52
4	64	64	65	66	66	67	68	69	69
5	80	80	81	82	83	84	85	86	87
6	96	97	98	99	1·00	1·01	1·02	1·03	1·04
7	1·11	1·13	1·14	1.15	16	17	19	20	21
8	27	29	30	31	33	34	36	37	38
9	43	45	46	48	49	51	53	54	56
10	59	61	63	64	66	68	70	71	73
11	75	77	79	81	83	85	87	88	90
12	91	93	95	97	99	2·01	2·03	2·06	2·08
13	2·07	2·09	2·11	2·14	2·16	18	20	23	25
14	23	25	28	30	33	35	37	40	42
15	39	41	44	47	49	52	54	57	60
16	55	57	60	63	66	69	71	74	77
17	71	74	76	79	82	85	88	91	94
18	87	90	93	96	99	3·02	3·05	3·08	3·11
19	3·02	3·06	3·09	3·12	3·16	19	22	25	29
20	18	22	25	29	32	36	39	43	46
21	34	38	42	45	49	52	56	60	63
22	50	54	58	62	65	69	73	77	81
23	66	70	74	78	82	86	90	94	98
24	82	86	90	94	99	4·03	4·07	4·11	4·15
25	98	4·02	4·07	4·11	4·15	20	24	28	33
26	4·14	18	23	27	32	36	41	45	50
27	30	34	39	44	48	53	58	62	67
28	46	51	55	60	65	70	75	80	84
29	62	67	72	77	82	87	92	97	5·02
30	78	83	88	93	98	5·03	5·09	5·14	19

NB. Die in den Tabellen gefundenen Zahlen sind von den direct abgelesenen Barometerständen abzuziehen.

Tafel XXV. Reduction der Barometerablesungen an Messingskala auf 0° C.

(Die Zahlen der Tabelle sind für Temperaturen unter 0° zum beobachteten Barometerstande zu addiren, für Temperaturen über 0° von demselben abzuziehen.)

Temperatur ° C.	Barometerstand in Millimeter							
	640	650	660	670	680	690	700	710
0	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00
1	10	10	11	11	11	11	11	11
2	21	21	21	22	22	22	23	23
3	31	31	32	32	33	33	34	34
4	41	42	43	43	44	45	45	46
5	52	52	53	54	55	56	56	57
6	62	63	64	65	66	67	68	69
7	72	73	75	76	77	78	79	80
8	83	84	85	87	88	89	90	92
9	93	94	96	97	99	1·00	1·02	1·03
10	1·03	1·05	1·07	1·08	1·10	11	13	15
11	14	15	17	19	21	23	24	26
12	24	26	28	30	32	34	36	38
13	34	36	38	41	43	45	47	49
14	45	47	49	51	54	56	58	60
15	55	57	60	62	65	67	69	72
16	65	68	70	73	76	78	81	83
17	76	78	81	84	87	89	92	95
18	86	89	92	95	98	2·00	2·03	2·06
19	96	99	2·02	2·05	2·09	12	15	18
20	2·07	2·10	13	16	20	23	26	29
21	17	20	24	27	30	34	37	41
22	27	31	34	38	41	45	49	52
23	38	41	45	49	52	56	60	63
24	48	52	56	60	63	67	71	75
25	58	62	66	70	74	78	82	86
26	69	73	77	81	85	90	94	98
27	79	83	88	92	96	3·01	3·05	3·09
28	89	94	98	3·03	3·07	12	16	21
29	3·00	3·04	3·09	14	18	23	28	32
30	10	15	20	24	29	34	39	44
31	20	25	30	35	40	45	50	55
32	31	36	41	46	51	56	62	67
33	41	46	52	57	62	68	73	78
34	51	57	62	68	73	79	84	90
35	62	67	73	78	84	90	95	4·01

Temperatur °C.	Barometerstand in Millimeter						
	720	730	740	750	760	770	780
0	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00
1	12	12	12	12	12	12	13
2	23	24	24	24	25	25	25
3	35	35	36	36	37	37	38
4	46	47	48	48	49	50	50
5	58	59	60	61	61	62	63
6	70	71	72	73	74	75	76
7	81	82	84	85	86	87	88
8	93	94	96	97	98	99	1·01
9	1·05	1·06	1·07	1·09	1·10	1·12	13
10	16	18	19	21	23	24	26
11	28	30	31	33	35	37	38
12	39	41	43	45	47	49	51
13	51	53	55	57	59	61	64
14	62	65	67	69	72	74	76
15	74	77	79	82	84	86	89
16	86	89	91	94	96	99	2·01
17	98	2·00	2·03	2·06	2 09	2·11	14
18	2·09	12	15	18	21	24	27
19	21	24	27	30	33	36	39
20	32	36	39	42	45	49	52
21	44	47	51	54	58	61	64
22	56	59	63	66	70	73	77
23	67	71	75	78	82	86	90
24	79	83	87	91	94	98	3·02
25	91	94	99	3·03	3·07	3·11	15
26	3·02	3·06	3·11	15	19	23	27
27	14	18	22	27	31	36	40
28	25	30	34	39	43	48	52
29	37	42	46	51	56	60	65
30	49	53	58	63	68	73	78
31	60	65	70	75	80	85	90
32	72	77	82	87	93	98	4·03
33	83	88	94	99	4·05	4·10	15
34	95	4·00	4·06	4·12	17	23	28
35	4·07	12	18	24	29	35	41

NB. Die Reduction der Barometerangabe auf 0° erfolgt nach der Gleichung:

$$h = H \frac{5550}{5550 + t} (1 + k t)$$

worin h = corrigirte Barometerhöhe
H = beobachtete Höhe (mit Correctur für Capillarität, siehe Tafel XXVI)
t = Temperatur zur Zeit der Beobachtung
k = linearer Ausdehnungscoefficient der Scala
$\frac{1}{5550}$ = Ausdehnung des Quecksilbers für 1° C. zwischen 0° und 100°.

Tafel XXVI. Capillarcorrection.

(R = Radius der Barometerröhre, in *mm*; F = Höhe des Meniscus; α = Correction in *mm*, zu der beobachteten Höhe zu addiren)

F	R = 2	R = 3	R = 4	R = 5	R = 6	F
0·2	α = 0·60	0·24	0·12	0·07	0·04	0·2
0·3	0·89	0·36	0·18	0·10	0·06	0·3
0·4	1·16	0·48	0·24	0·13	0·07	0·4
0·5	1·41	0·59	0·30	0·16	0·09	0·5
0·6	1·65	0·70	0·35	0·19	0·11	0·6
0·7	1·86	0·80	0·40	0·22	0·13	0·7
0·8	2·05	0·90	0·46	0·25	0·14	0·8
0·9	2·21	0·99	0·50	0·28	0·16	0·9
1·0	2·35	1·07	0·55	0·31	0·18	1·0
1·1	—	1·14	0·59	0·33	0·19	1·1
1·2	—	1·21	0·64	0·35	0·21	1·2
1·3	—	1·27	0·67	0·38	0·22	1·3
1·4	—	1·32	0·71	0·40	0·23	1·4
1·5	—	1·37	0·74	0·42	0·24	1·5
1·6	—	—	0·77	0·44	0·25	1·6

Tafel XXVII. Verwandlung der in Pariser Linien ausgedrückten Barometerstände in Millimeter.

Pariser Linien	·0	·1	·2	·3	·4	·5	·6	·7	·8	·9
326	735·40	735·63	735·85	736·08	736·30	736·53	736·75	736·98	737·20	737·43
327	737·66	737·88	738·11	738·33	738·56	738·78	739·01	739·24	739·46	739·69
328	739·91	740·14	740·36	740·59	740·81	741·04	741·27	741·49	741·72	741·94
329	742·17	742·39	742·62	742·84	743·07	743·30	743·52	743.75	743·97	744·20
330	744·42	744·65	744·87	745·10	745·33	745·55	745·78	746·00	746·23	746·55

Pariser Linien	·0	·1	·2	·3	·4	·5	·6	·7	·8	·9
331	746·68	746·90	747·13	747·36	747·58	747·81	748·03	748·26	748·48	748·71
332	748·94	749·16	749·39	749·61	749·84	750·06	750·29	750·51	750·74	750·97
333	751·19	751·42	751·64	751·87	752·09	752·32	752·54	752·77	753·00	753·23
334	753·45	753·67	753·90	754·12	754·35	754·57	754·80	755·03	755·25	755·48
335	755·70	755·93	756·15	756·38	756·61	756·83	757·06	757·28	757·51	757·73
336	757·96	758·18	758·41	758·64	758·86	759·09	759·31	759·24	759·76	759·99
337	760·21	760·44	760·67	760·89	761·12	761·34	761·57	761·79	762·02	762·24
338	762·45	762·70	762·92	763·15	763·37	763·60	763·82	764·05	764·27	764·70
339	764·73	764·96	765·18	765·40	765·63	765·85	766·08	766·31	766·53	766·76
340	766·98	767·21	767·43	767·66	767·88	768·11	768·34	768·56	768·79	769·01
341	769·24	769·46	769·69	769·91	770·14	770·37	770·59	770·82	771·04	771·27
342	771·49	771·71	771·94	772·17	772·40	772·62	772·85	773·07	773·30	773·52
343	773·75	773·97	774·20	774·43	774·65	774·88	775·10	775·33	775·55	775·78
344	776·01	776·23	776·46	776·68	776·91	777·13	777·36	777·58	777·81	778·04
345	778·26	778·49	778·71	778·94	779·16	779·39	779·61	779·84	780·07	780·29

Tafel XXVIII. Druck der Atmosphäre in verschiedenem Maß.

Der Druck der Atmosphäre, entsprechend einer 760 *mm* hohen Quecksilbersäule ist = 1·03329068 *kg* pro cm^2. Häufig auch bei den polizeilichen Bestimmungen über Anlage von Dampfkesseln, wird 1 Atmosphäre = 1 *kg* pro cm^2 (Neu-Atmosphäre) gerechnet.

Die Atmosphäre		Höhe der Quecksilbersäule (Qu.-S.) in				Druck auf den		
28 Pariser Zoll Qu.-S.	76 *cm* Qu.-S.	Pariser Zoll	*cm*	preußische Zoll	englische Zoll	preuß. □Zoll in Pfunden	cm^2 in *kg*	englische □Zoll in Pfunden
1	0·99731	28·000	75·796	28·980	29·841	14·099	1·0305	14·657
1·00269	1	28·075	76·000	29·058	29·922	14·136	1·0333	14·696
0·03571	0·03562	1	2·707	1·035	1·066	0·5035	0·0368	0·5235
0·01319	0·01316	0·369	1	0·382	0·394	0·1860	0·0136	0·1934
0 03451	0·03441	0·966	2·615	1	1·030	0·4865	0·0356	0·5057
0·03351	0·03342	0·938	2·540	0·971	1	0·4725	0·0345	0·4912
0 0793	0·07074	1·986	5·376	2·056	2·118	1	0·0731	1·0396
0·97039	0·96778	27·171	73·551	28·122	28·958	13·681	1	14·223
0·06823	0·06805	1·910	5·171	1·977	2·036	0·9619	0·0703	1

Tafel XXIX. Reduction von Wasserdruck auf Quecksilberdruck in Millimetern.

Wasserdruck mm	Quecksilberdruck mm	Wasserdruck mm	Quecksilberdruck mm	Wasserdruck mm	Quecksilberdruck mm	Wasserdruck mm	Quecksilberdruck mm
1	0·07	28	2·07	55	4·06	82	6·05
2	0·15	29	2·14	56	4·13	83	6·13
3	0·22	30	2·21	57	4·21	84	6·20
4	0·30	31	2·29	58	4·28	85	6·27
5	0·37	32	2·36	59	4·35	86	6·35
6	0·44	33	2·44	60	4·43	87	6·42
7	0·52	34	2·51	61	4·50	88	6·49
8	0·59	35	2·58	62	4·58	89	6·57
9	0·66	36	2·66	63	4·65	90	6·64
10	0·74	37	2·73	64	4·72	91	6·72
11	0·81	38	2·80	65	4·80	92	6·79
12	0·89	39	2·88	66	4·87	93	6·86
13	0·96	40	2·95	67	4·94	94	6·94
14	1·03	41	3·03	68	5·02	95	7·01
15	1·12	42	3·10	69	5·09	96	7·08
16	1·18	43	3·17	70	5·17	97	7·16
17	1·26	44	3·25	71	5·24	98	7·28
18	1·33	45	3·32	72	5·31	99	7·81
19	1·40	46	3·39	73	5·39	100	7·38
20	1·48	47	3·47	74	5·46	200	14·76
21	1·55	48	3·54	75	5·54	300	22·14
22	1·62	49	3·62	76	5·61	400	29·52
23	1·70	50	3·69	77	5·68	500	36·90
24	1·77	51	3·76	78	5·76	600	44·28
25	1·84	52	3·84	79	5·83	700	51·66
26	1·92	53	3·91	80	5·90	800	59·04
27	1·98	54	3·99	81	5·98	900	66·42
						1000	73·80

Tafel XXX. Mittlerer Barometerstand bei verschiedenen Höhen über dem Meere.

(Giltig für eine Lufttemperatur von 10° C.) nach Kohlrausch.

Höhe über dem Meere		Barometerstand	Höhe über dem Meere		Barometerstand
Meter	Pariser Fuß	Millimeter	Meter	Pariser Fuß	Millimeter
0	0	760	400	1231	724
100	308	751	500	1539	716
200	616	742	600	1847	707
300	924	733	700	2155	699



Höhe über dem Meere		Barometerstand	Höhe über dem Meere		Barometerstand
Meter	Pariser Fuß	Millimeter	Meter	Pariser Fuß	Millimeter
800	2463	690	1500	4618	635
900	2771	682	1600	4926	627
1000	3078	674	1700	5233	620
1100	3386	666	1800	5541	612
1200	3694	658	1900	5849	605
1300	4002	650	2000	6167	598
1400	4310	642			

Tafel XXXI. Größe des Luftdruckes bei verschiedenem Barometerstande.

Höhe der Quecksilbersäule *mm*	Druck auf 1 m^2 in *kg*	Höhe der Quecksilbersäule *mm*	Druck auf 1 m^2 in *kg*	Höhe der Quecksilbersäule *mm*	Druck auf 1 m^2 in *kg*
500	6793	600	8152	700	9510
510	6929	610	8287	710	9646
520	7065	620	8423	720	9782
530	7201	630	8559	730	9918
540	7336	640	8695	740	10054
550	7472	650	8831	750	10189
560	7608	660	8967	760	10325
570	7744	670	9105	770	10461
580	7880	680	9238	780	10597
590	8016	690	9374	790	10733

Tafel XXXII a) Die Werthe von $\frac{0 \cdot 001293052}{1 + 0 \cdot 003670\, t}$ und log. $\frac{0 \cdot 001293052}{1 + 0 \cdot 003670\, t}$

(Zur Berechnung des Gewichtes eines Kubikmeters trockener Luft — mit 0·04 Vol. % Kohlensäure — nach der Formel $G = \frac{1 \cdot 252\, p}{1 + \alpha\, t}$ *kg**) nach Landolt & Börnstein (giltig f. Temperaturen von — 2° bis + 34° C.)

Temperatur t° C.	$\frac{0 \cdot 001293052}{1+0 \cdot 003670\, t}$	log. $\frac{0 \cdot 001293052}{1+0 \cdot 003670\, t}$	Temperatur t° C.	$\frac{0 \cdot 001293052}{1+0 \cdot 003670\, t}$	log. $\frac{0 \cdot 001293052}{1+0 \cdot 003670\, t}$
—2·0	0·00 13026	7·11482—10	—0·5	0·00 12954	7·11242—10
—1·5	002	402	0·0	931	162
—1·0	12978	322	+0·5	907	082

*) p bedeutet den Druck in *kg* per 1 cm^2.

Temperatur t° C.	$\frac{0\cdot001293052}{1+0\cdot003670\,t}$	log. $\frac{0\cdot001293052}{1+0\cdot003670\,t}$	Temperatur t° C.	$\frac{0\cdot001293052}{1+0\cdot003670\,t}$	log. $\frac{0\cdot001293052}{1+0\cdot003670\,t}$
+1·0	0·00 12883	7·11003—10	18·0	0·00 12129	7·08383—10
1·5	860	7·10923—10	18·5	108	309
2·0	836	844	19·0	088	234
2·5	813	765	19·5	067	160
3·0	790	686	20·0	049	085
3·5	766	607	20·5	026	011
4·0	744	529	21·0	005	7·07937—10
4·5	720	450	21·5	0·00 11985	863
5·0	698	372	22·0	965	789
5·5	675	294	22·5	944	716
6·0	652	216	23·0	924	642
6·5	629	138	23·5	904	569
7·0	607	060	24·0	884	496
7·5	584	7·09982—10	24·5	864	422
8·0	562	905	25·0	844	349
8·5	539	828	25·5	824	276
9·0	517	750	26·0	804	204
9·5	495	673	26·5	784	131
10·0	473	596	27·0	765	058
10·5	451	519	27·5	745	7·06986—10
11·0	429	443	28·0	726	913
11·5	407	366	28·5	706	841
12·0	385	290	29·0	684	769
12·5	363	214	29·5	667	697
13·0	342	137	30·0	648	625
13·5	320	061	30·5	629	554
14·0	299	7·08986—10	31·0	610	482
14·5	277	910	31·5	591	411
15·0	256	834	32·0	572	340
15·5	235	759	32·5	553	268
16·0	213	683	33·0	534	197
16·5	192	608	33·5	515	126
17·0	171	533	34·0	496	055
17·5	150	458			

Tafel XXXII b) Die Werthe von $\frac{0{\cdot}001293052}{1 + 0{\cdot}003670\,t}$ und log. $\frac{0{\cdot}001293052}{1 + 0{\cdot}003670\,t}$

(Zur Berechnung des Gewichtes eines Cubikmeters trockener Luft mit 0·04 Vol. % Kohlensäure — nach der Formel $G = \frac{1{\cdot}252\,p}{1 + \alpha\,t}$ *kg*; giltig für Temperatur zwischen 91 °C. und 210 °C.)

Temperatur t° C.	$\frac{0{\cdot}001293052}{1+0{\cdot}003670\,t}$	log. $\frac{0{\cdot}001293052}{1+0{\cdot}003670\,t}$	Temperatur t° C.	$\frac{0{\cdot}001293052}{1+0{\cdot}003670\,t}$	log. $\frac{0{\cdot}001293052}{1+0{\cdot}003670\,t}$
91	0·00096933	6·98647—10	127	0·00088198	6·94546—10
92	6667	528	128	7977	437
93	6403	409	129	7759	329
94	6139	290	130	7541	221
95	5878	172	131	7323	113
96	5618	054	132	7108	006
97	5359	6·97936—10	133	6894	6·93899—10
98	5102	819	134	6680	792
99	4846	702	135	6467	685
100	4591	585	136	6254	578
101	4339	469	137	6044	472
102	4087	353	138	5834	366
103	3836	237	139	5625	260
104	3586	121	140	5418	155
105	3338	006	141	5212	050
106	3091	6·96891—10	142	5006	6·92942—10
107	2847	777	143	4801	840
108	2602	662	144	4598	736
109	2359	548	145	4396	632
110	2119	435	146	4193	528
111	1878	321	147	3992	424
112	1639	208	148	3793	321
113	1401	095	149	3595	218
114	1165	6·95983—10	150	3397	115
115	0931	871	151	3199	012
116	0694	758	152	3004	6·91910—10
117	0463	647	153	2808	807
118	0232	536	154	2615	706
119	0000	424	155	2421	604
120	0·00089772	314	156	2228	502
121	9543	203	157	2087	401
122	9316	093	158	1846	300
123	9090	6·94983—10	159	1658	199
124	8865	873	160	1469	099
125	8642	764	161	1281	6·90999—10
126	8420	655	162	1092	898

Temperatur t° C.	$\frac{0·001293052}{1+0·003670t}$	log. $\frac{0·001293052}{1+0·003670t}$	Temperatur t° C.	$\frac{0·001293052}{1+0·003670t}$	log. $\frac{0·001293052}{1+0·003670t}$
163	0·00080908	6·90799—10	187	0·00076681	6·88469—10
164	0722	699	188	6514	374
165	0538	600	189	6348	280
166	0353	500	190	6183	186
167	0171	402	191	6019	092
168	0·00079989	303	192	5856	6·87999—10
169	9807	204	193	5692	905
170	9627	106	194	5530	812
171	9447	008	195	5369	719
172	9268	6·89910—10	196	5207	626
173	9092	813	197	5048	534
174	8913	715	198	4888	441
175	8737	618	199	4729	349
176	8562	521	200	4571	257
177	8386	424	201	4413	165
178	8213	328	202	4257	074
179	8040	232	203	4100	6·86982—10
180	7868	136	204	3945	891
181	7696	040	205	3790	800
182	7525	6·88944—10	206	3636	709
183	7355	849	207	3482	618
184	7184	753	208	3330	528
185	7016	658	209	3178	438
186	6848	563	210	3026	348

Tafel XXXIII.

Dichte der trockenen atmosphärischen Luft,

ogen auf Wasser von 4° C. für die Temperatur t und den Barometer-
d b, resp. Gewicht eines Liter ($=\frac{1}{1000}\,m^3$) trockener atmo-
härischer Luft für die Temperaturen t und die Barometerstände b
in Kilogramm. *)

t	b = 690 *mm*	700 *mm*	710 *mm*	720 *mm*	730 *mm*
0°	0·001174	0·001191	0·001208	0·001225	0·001242
1	1170	1187	1204	1221	1238
2	1163	1182	1199	1216	1233
3	1161	1178	1195	1212	1229
4	1157	1174	1191	1208	1224
5	1152	1169	1186	1203	1220

t.	b = 690 *mm*	700 *mm*	710 *mm*	720 *mm*	730 *mm*
6	0·001148	0·001165	0·001182	0·001199	0·001216
7	1144	1161	1178	1195	1211
8	1139	1156	1173	1190	1207
9	1135	1152	1169	1186	1203
10	1134	1150	1166	1182	1198
11	1130	1146	1162	1178	1194
12	1126	1142	1158	1174	1190
13	1120	1136	1153	1170	1186
14	1114	1131	1148	1165	1182
15	1110	1127	1144	1161	1178
16	1106	1123	1140	1157	1174
17	1103	1120	1136	1153	1169
18	1101	1117	1133	1149	1165
19	1098	1114	1131	1146	1161
20	1094	1110	1127	1142	1157
21	1090	1106	1122	1138	1154
22	1086	1102	1118	1134	1150
23	1082	1098	1114	1130	1146
24	1078	1094	1110	1126	1142
25	1074	1090	1106	1122	1138
26	1072	1087	1103	1119	1134
27	1069	1084	1099	1115	1130
28	1065	1080	1095	1111	1127
29	1063	1078	1093	1108	1123
30	1059	1074	1089	1104	1119

t.	740 *mm*	750 *mm*	760 *mm*	770 *mm*	780 *mm*
0°	0·001259	0·001276	0·001293	0·001310	0·001327
1	1255	1272	1289	1306	1323
2	1250	1267	1284	1301	1318
3	1246	1262	1279	1296	1313
4	1241	1258	1275	1291	1307
5	1237	1253	1270	1287	1304
6	1232	1249	1266	1282	1298
7	1228	1244	1261	1278	1295
8	1223	1240	1257	1273	1289
9	1219	1236	1252	1269	1286
10	1215	1231	1248	1264	1280
11	1211	1227	1243	1260	1377
12	1206	1223	1239	1255	1271
13	1202	1218	1235	1251	1267
14	1198	1214	1230	1246	1262

740 mm	750 mm	760 mm	770 mm	780 mm
1194	1210	1226	1242	1258
1190	1206	1222	1238	1254
1185	1201	1218	1234	1250
1181	1197	1213	1229	1245
1177	1193	1209	1225	1241
1173	1189	1205	1221	1237
1169	1185	1201	1217	1233
1175	1181	1197	1213	1229
1161	1177	1193	1209	1225
1158	1173	1189	1204	1219
1154	1169	1185	1200	1215
1150	1165	1181	1196	1211
1146	1161	1177	1192	1207
1142	1158	1173	1188	1203
1138	1154	1169	1184	1199
1135	1150	1165	1181	1197

*) Das Volumgewicht der Luft, auf Wasser bezogen ist bei 0° und $n = \frac{1}{773 \cdot 28}$ das Gewicht eines Liters Luft in Grammen ausgedrückt

$$92743 \; \frac{p}{(1+0 \cdot 00366\ t)} (1 - 0 \cdot 00265 \cos 2\ L.) \times \left(1 - \frac{2\ h}{R}\right). \quad —$$

ezeichnet t die Temperatur (° C.), p den Druck, L den Breitengrad, Höhe über dem Niveau des Meeres, R den Erdhalbmesser.

Tafel XXIV.

e der Kohlensäure. Gewichte von 1 m^3 Kohlensäure in Kilogrammen

bei 740—770 *mm* Barometerstand und den Temperaturen von 10°—25° C.

b = 740 mm	742 mm	744 mm	746 mm	748 mm
1·82438	1·82937	1·83437	1·83936	1·84435
1642	2139	2636	3134	3631
0838	1333	1829	2324	2820
0037	0532	1026	1521	2015
1·79234	1·79728	0221	0714	1208
8408	8899	1·79390	1·79880	0371
7590	8078	8567	9056	1·79545
6756	7243	7729	8216	8703
5925	6410	6896	7381	7867

t° C	b = 740 *mm*	742 *mm*	744 *mm*	746 *mm*	748 *mm*
19	5078	5562	6046	6530	7014
20	4234	4716	5199	5681	6113
21	3377	3857	4338	4818	5299
22	2512	2991	3470	3949	4428
23	1636	2114	2591	3078	3546
24	0751	1227	1702	2178	2654
25	1·69854	0329	0803	1277	1751

t° C	b = 750 *mm*	752 *mm*	754 *mm*	756 *mm*	758 *mm*	760 *mm*
10°	1·84934	1·85433	1·85933	1·86432	1·86931	1·87430
11	4129	4626	5621	5621	6118	6616
12	3315	3811	4302	4802	5298	5793
13	2510	3004	3993	3993	4488	4982
14	1701	2194	2867	3181	3674	4167
15	0861	1352	1843	2333	2824	3314
16	0034	0523	1012	1501	1990	2479
17	1·79189	1·79676	0163	0650	1136	1623
18	8353	8838	1·79324	1·79809	0295	0781
19	7498	7982	8466	8950	1·79434	1·79917
20	6645	7127	7610	8092	8574	9056
21	5299	6260	6741	7221	7702	8183
22	4428	5386	5865	6344	6823	7302
23	3546	4501	4978	5455	5933	6410
24	2654	3605	4081	4556	5032	5508
25	1751	2699	3173	3648	4122	4596

t° C	b = 762 *mm*	764 *mm*	766 *mm*	768 *mm*	770 *mm*
10°	1·87930	1·88429	1·88928	1·89427	1·89926
11	7118	7610	8108	8605	9103
12	6289	6785	7280	7776	8271
13	5477	5971	6466	6960	7455
14	4661	5154	5647	6141	6634
15	3805	4296	4786	5277	5767
16	2968	3457	3946	4435	4924
17	2110	2596	3083	3570	4056
18	1266	1752	2237	2723	3209
19	0401	0885	1369	1853	2337
20	1·79538	0021	0503	0985	1467
21	8663	1·79144	1·79624	0105	0586
22	7781	8260	8739	1·79218	1·79697
23	6888	7365	7842	8320	8797
24	5984	6459	6935	7411	7886
25	5070	5544	6018	6492	6967

fel XXXV. Theoretische Dichte der Gase und Gewicht ıon 1 Liter derselben bei 0° C. und 760 *mm* Druck

für die geographische Breite von 45°. und diejenige von Berlin.

Substanz	Formel	Dichte		Gew. v. 1 *l* in Gramm.	
		Wasserstoff = 2 (Molek.-Gewicht.	Luft = 1	unter 45° Br. im Meeresniveau	in Berlin (50° 31′ 13″ Br. u. 41 m Seehöhe
cetylen	C_2H_2	25·947	0·89820	1·16143	1·16219
ethan	C_2H_6	29·947	1·03667	1·34047	1·34136
ethylen	C_2H_4	27·947	0·96744	1·25095	1·25178
llylen	C_3H_4	39·921	1·38194	1·78692	1·78811
mmoniak	H_3N	17·012	0·58890	0·76148	0·76199
rsenwasserstoff	H_3As	77·918	2·69728	3·48772	3·49003
ırom	Br_2	159·538	5·52271	7·14115	7·14588
ırommwasserstoff	HBr	80·769	2·79597	3·61534	3·61773
ıutan	C_4H_{10}	57·894	2·00411	2·59142	2·59314
ıutylen	C_4H_8	55·894	1·93488	2·50190	2·50355
hlor	Cl_2	70·752	2·44921	3·16696	3·16906
hlorkohlenoxyd	$COCl_2$	98·689	3·44921	4·41746	4·42089
hlorwasserstoff	HCl	36·376	1·25922	1·62824	1·62932
yan	C_2N_2	51·971	1·79907	2·32630	2·32784
luorwasserstoff	HF	19·984	0·69178	0·89451	0·89511
rubengas (Methan)	CH_4	15·974	0·55297	0·71502	0·71549
odwasserstoff	HJ	127·559	4·41570	5·70972	5·71351
ohlenoxyd	CO	27·937	0·96709	1·25050	1·25133
ohlenoxysulfid	COS	59·937	2·07483	2·68287	2·68464
ohlensäure	CO_2	43·900	1.51968	1·96503	1·96633
hosphorwasserstoff	H_3P	33·958	1·17552	1·52001	1·52102
ropan	C_3H_8	43·921	1·52041	1·96597	1·96727
opylen	C_3H_6	41·921	1·45118	1·87644	1·87769
auerstoff	O_2	31·927	1·10521	1·42908	1·43003
chweflige Säure	SO_2	63·927	2·21295	2·86146	2·86336
chwefelwasserstoff	H_2S	34·000	1·17697	1·52189	1·52290
elenwasserstoff	H_2Se	80·797	2·79694	3·61659	3·61899
iliciumfluorid	SiF_4	104·131	3·60469	4·66105	4·66414
tickstoff	N_2	28·024	0 97010	1·25440	1·25523
tickstoffoxyd	NO	29·975	1·03764	1·34172	1·34261
tickstoffoxydul	N_2O	43·987	1·52269	1 96892	1·97023
ellurwasserstoff	H_2Te	129·960	4·49881	5·81720	5·82105
Wasserdampf	H_2O	17·963	0·62182	0·80405	0·80458
Wasserstoff	H_2	2·000	0·069234	0·089523	0·089582
tmosphärische Luft	—	—	1·00000	1·293052	1·293909

Tafel XXXVI. Tafel zur Berechnung des Ge-

für die geographische Breite (52° 31′ 13″) und Meereshöhe

Nr.	Namen der Gase	Formel	1000 cm^3	2000 cm^3	3000 cm^3
			Gramme	Gramme	Gramme
1	Acetylchlorid	$C_2 H_3 Cl$	2·7921	5·5841	8·3762
2	Acetylen	$C_2 H_2$	1·1623	2·3247	3·4870
3	Aethyl	$C_2 H_5$	2·5935	5·1870	7·7804
4	Aethylwasserstoff (Aethan)	$C_2 H_6$	1·3415	2·6830	4·0245
5	Ammoniak	$H_3 N$	0·7627	1·5255	2·2882
6	Antimon	Sb_4	21·8720	43·7440	65·6160
7	Antimonwasserstoff	$H_3 Sb$	5·6023	11·2047	16·8070
8	Arsenik	As_4	13·4085	26·8170	40·2255
9	Arsenikwasserstoff	$As H_3$	3·4865	6·9730	10·4594
10	Benzin	$C_6 H_6$	3.4856	6·9711	10·4567
11	Bor	B_2	1·9487	3·8975	5·8462
12	Borchlorid	$B Cl_3$	5·2419	10·4839	15·7258
13	Borfluorid	$B Fl_3$	3·0349	6·0697	9·1046
14	Brom	Br_2	7·1467	14·2934	21·4400
15	Bromwasserstoff	$H Br_2$	3·6182	7·2363	10·8544
16	Chlor	Cl_2	3·1698	6·3396	9·5094
17	Chlorkohlenoxyd	$C O Cl_2$	4·4213	8·8425	13·2638
18	Chlorwasserstoff	$H Cl$	1·6296	3·2592	4·8888
19	Cyan	$C N$	2·3293	4·6586	6·9880
20	Cyanchlorid	$C N Cl$	2·7495	5·4990	8·2485
21	Ditetryl	$C_4 H_8$	2·5038	5·0077	7·5115
22	Elayl	$C_2 H_4$	1·2520	2·5040	3·7559
23	Fluor	Fl_2	1·6984	3·3968	5·0952
24	Fluorwasserstoff	$H Fl$	0·8940	1·7881	2·6821
25	Grubengas (Methan)	$C H_4$	0·7155	1·4310	2·1465
26	Jod	J_2	11·3382	22·6744	34·0146
27	Jodwasserstoff	$H J$	5·7201	11·4401	17·1602
28	Silicium	Si_2	2·5386	5·0773	7·6159
29	Siliciumfluorid	$Si Fl_4$	4·6661	9·3323	13·9984
30	Kohle	C_2	1·0727	2·1454	3·2180
31	Kohlenoxyd	$C O$	1·2515	2·5029	3·7544
32	Kohlensäure	$C O_2$	1·9666	3·9332	5·8999
33	Methyl (Dimethyl)	$C_2 H_6$	1·3415	2·6830	4·0245
34	Methyloxyd	$C_2 H_6 O$	2·0566	4·1132	6·1699
35	Methylchlorid	$C H_3 Cl$	2·2556	4·5112	6·7667

wichtes von Gasen aus dem Volumen derselben
(41 *m*) von Berlin. Nach Bunsen „gasometrische Methoden“.

4000 cm^3	5000 cm^3	6000 cm^3	7000 cm^3	8000 cm^3	9000 cm^3
Gramme	Gramme	Gramme	Gramme	Gramme	Gramme
11·1682	13·9602	16·7523	19·5443	22·3364	25·1284
4·6494	5·8117	6·9740	8·1364	9·2987	10·4611
10·3739	12·9674	15·5609	18·1534	20·7478	23·3413
5·3660	6·7075	8 0490	9·3905	10·7320	12·0735
3·0509	3·8136	4·5764	5·3391	6·1018	6·8645
87·4880	109·3600	131·2320	153·1040	174·9760	196·8480
22·4094	28·0117	33·6140	39·2164	44·8187	50·4211
53·6340	67·0425	80·4510	93·8595	107·2680	120·6765
13·9459	17·4324	20·9189	24·4054	27·8918	31·3783
13·9423	17·4279	20·9134	24·3990	27·8846	31·3701
7·7949	9·7437	11·6924	13·6411	15·5898	17·5386
20·9678	26·2097	31·4516	36·6936	41·9355	47·1775
12·1394	15·1743	18·2092	21·2440	24·2789	27·3187
18·5897	35·7334	42·8801	50·0268	57·1734	64·3201
14·4727	18·0909	21·7090	25·3272	28·9454	32·5635
12·6792	15·8490	19·0187	22·1885	25·3583	28·5281
17·6850	22·1063	26·5275	30·9488	35·3700	39·7913
6·5184	8·1480	9·7775	11·4071	13·0067	14·6663
9·3173	11·6466	13·9759	16·3052	18·6346	21·9639
10·9980	13·7475	16·4969	19·2464	21·9959	24·7454
10·0153	12·5191	15·0230	17·5268	20·0306	22·5345
5·0079	6·2599	7·5119	8·7639	10·0158	11·2678
6·7936	8·4921	10·1905	11·8889	13·5873	15·2857
3·5761	4·4702	5·3642	6·2582	7·1522	8·0463
2·8620	3·5775	4·2931	5·0086	5·7241	6·4396
45·3528	56·6910	68·0292	79·3674	90·7056	102·0438
22·8802	28·6003	34·3204	40·0404	45·7605	51·4805
10·1545	12·6932	15·2318	17·7704	20·3090	22·8477
18·6646	23·3307	27·9968	32·6630	37·3291	41·9953
4·2907	5·3634	6·4361	7·5088	8·5814	9·6541
5·0058	6·2573	7·5088	8·7602	10·0117	11·2631
7·8665	9·8331	11.7997	13·7663	15·7330	17·6996
5·3660	6·7075	8·0490	9·3905	10·7320	12·0735
8·2265	10·2831	12·3397	14·3963	16·4530	18·5096
9·0223	11·2779	13·5335	15·7891	18·0446	20·3002

Nr.	Namen der Gase	Formel	1000 cm^3	2000 cm^3	3000 cm^3
			Gramme	Gramme	Gramme
36	Phosphor	P_4	5·5422	11·0844	16·6266
37	Phosphorwasserstoff	H_3P	1·5200	3·0400	4·5601
38	Propylen	C_3H_6	1·8773	3·7546	5·6320
39	Sauerstoff	O_2	1·4303	2·8605	4·2908
40	Schwefel	S_6	2·8676	5·7352	8·6028
41	Schwefelige Säure	SO_2	2.8640	5·7280	8·5919
42	Schwefelwasserstoff	H_2S	1·5234	3·0468	4·5701
43	Selen	Se_6	7·0797	14·1593	21·2390
44	Selenwasserstoff	H_2Se	3·6294	7·2588	10·8883
45	Stickstoff	N_2	1·2566	2·5131	3·7697
46	Stickoxyd	N_2O_2	1·3434	2·6869	4·0303
47	Stickoxydul	N_2O	1·9716	3·9433	5·9149
48	Tellur	Te_6	11.4598	22·9196	34·3794
49	Tellurwasserstoff	H^2Te	5·8195	11·6391	17·4586
50	Wasserdampf	H^2O	0·8048	1·6095	2·4143
51	Wasserstoff	H^2	0·0896	0·1792	0·2688
52	atmosphärische Luft	—	1.2936	2·5873	3·8809

4000 cm^3	5000 cm^3	6000 cm^3	7000 cm^3	8000 cm^3	9000 cm^3
Gramme	Gramme	Gramme	Gramme	Gramme	Gramme
22·1688	27·7110	33·2531	38·7953	44·3375	49·8797
6·0801	7·6001	9·1201	10·6401	12·1602	13·6802
7·5093	9·3866	11·2639	13·1412	15·0186	16·8959
5·7210	7·1513	8·5816	10·0118	11·4421	12·8723
11·4704	14·3380	17·2056	20·0732	22·9408	25·8084
11·4559	14·3199	17·1839	20·0479	22·9118	25·7758
6·0935	7·6169	9·1403	10·6637	12·1870	13·7104
28·3187	35·3984	42·4780	49·5577	56·6374	63·7170
14·5177	18·1471	21·7765	25·4059	29·0354	32·6648
5·0262	6·2828	7·5394	8·7959	10·0525	11·3090
5·3738	6·7172	8·0606	9·4041	10·7475	12·0910
7·8865	9·8582	11·8298	13·8014	15·7739	17·7447
45·8329	57·2990	68·7588	80·2186	91·6784	103·1383
23·2782	29·0977	34·9172	40·7368	46·5563	52·3759
3·2191	4·0239	4·8286	5·6334	6·4382	7·2429
0·3584	0·4481	0·5377	0·6273	0·7169	0·8065
5·1745	6·4682	7·7618	9·0554	10·3490	11·6427

Tafel XXXVII. Formeln für die specifische Wärme des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.

Specifische Wärme des Wassers	Anmerkung
A) Mittlere specifische Wärme des Wassers	
$C_{0-t} = 1 + 0{\cdot}00002\ t + 0{\cdot}0000003\ t^2$	nach Régnault
$C_{0-t} = 1 + 0{\cdot}00055\ t + 0{\cdot}0000004\ t^2$	nach Jamin und Amaury
$C_{0-t} = 1 + 0{\cdot}00011\ t$	nach Régnault's Versuchen von Bosscha berechnet
$C_{0-t} = 1 + 0{\cdot}000151\ t$	nach v. Münchhausen's Versuchen von Wüllner berechnet
$C_{0-t} = 1 + 0{\cdot}0001515\ t$	nach Baumgartner's Versuchen von Pfaundler berechnet
B) Wahre specifische Wärme des Wassers	
$C_t = 1 + 0{\cdot}00004\ t + 0{\cdot}0000009\ t^2$	nach Régnault
$C_t = 1 + 0{\cdot}00110\ t + 0{\cdot}0000012\ t^2$	nach Jamin und Amaury
$C_t = 1 + 0{\cdot}00022\ t$	nach Régnault's Versuchen von Bosscha berechnet
$C_t = 1 + 0{\cdot}000302\ t$	nach v. Münchhausen's Versuchen von Wüllner berechnet
$C_t = 1 + 0{\cdot}0003030\ t$	nach Baumgartner's Versuchen von Pfaundler berechnet

Tafel XXXVIII. Specifische Wärmen einiger fester Körper.

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Kupfer, weich	8·788	mittl. bis 100°	0·0948	Régnault
„ kalt gehämmert	8·878	„ „ „	0935	„
„ ausgeglüht	.	„ „ „	0949	„
Blei }	ergaben keine Aenderungen der specifischen Wärme			„
Zinn }				„
Stahl, weich	7·8609	mittl. bis 100°	0·1165	„
„ gehärtet	7·7982	„ „ „	1175	„
80 Kupfer } spröde abgelöscht	.	„ „ „	0·0859	„
+20 Zinn } (weich)	.	„ „ „	0862	„

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Platin, Blech	.	mittl. bis 100°	0·0324	Régnault
〃 Schwamm	.	〃 〃 〃	·0329	〃
Eisen	.	15° bis 100°	1123	Bède
〃	.	16 〃 142	1153	〃
〃	.	20 〃 274	1233	〃
Zinn	.	15 〃 100	0545	〃
〃	.	15 〃 172	0575	〃
〃	.	16 〃 213	0583	〃
Antimon	.	13 〃 106	0486	〃
〃	.	15 〃 175	0499	〃
〃	.	12 〃 209	0507	〃
Blei	.	14 〃 108	0305	〃
〃	.	16 〃 172	0317	〃
Kupfer	.	15 〃 100	0933	〃
〃	.	16 〃 172	0948	〃
〃	.	17 〃 247	0968	〃
Zink	.	16 〃 101	0909	〃
〃	.	17 〃 172	0939	〃
〃	.	17 〃 213	0956	〃
Wismuth	.	13 〃 106	0289	〃
〃	.	15 〃 175	0304	〃
〃	.	13 〃 205	0309	〃
〃 gereinigt	.	9 〃 102	0298	〃
Eisen	.	0 〃 100	1098	Dulong & Petit
〃	.	0 〃 200	1150	〃 〃
〃	.	0 〃 300	1218	〃 〃
〃	.	0 〃 350	1255	〃 〃
Zink	.	0 〃 100	0927	〃 〃
〃	.	0 〃 300	1015	〃 〃
Antimon	.	0 〃 100	0507	〃 〃
〃	.	0 〃 300	0549	〃 〃
Silber	.	0 〃 100	0557	〃 〃
〃	.	0 〃 300	0611	〃 〃
Kupfer	.	0 〃 100	0949	〃 〃
〃	.	0 〃 300	1013	〃 〃
Platin	.	0 〃 100	0355	〃 〃
〃	.	0 〃 300	0355	〃 〃
Glas	.	0 〃 100	117	〃 〃
〃	.	0 〃 300	190	〃 〃
Platin	.	0 〃 100	0335	Pouillet
〃	.	0 〃 200	339	〃
〃	.	0 〃 300	343	〃
〃	.	0 〃 400	348	〃
〃	.	0 〃 500	352	〃
〃	.	0 〃 600	356	〃
〃	.	0 〃 700	360	〃

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Platin	.	0° bis 800°	0·0364	Pouillet
"	.	0 " 1000	373	"
"	.	0 " 1500	394	"
Blei	.	—78 " +10	0·03065	Régnault
"	.	+14 " +98	3140	"
Roheisen	.	0°	0·12768	Byström
"	.	50	2830	"
"	.	100	2954	"
"	.	150	3140	"
"	.	200	3388	"
"	.	250	3698	"
"	.	300	4070	"
Gußstahl	.	0°	0·11782	"
"	.	50	1850	"
"	.	100	1986	"
"	.	150	2190	"
"	.	200	2462	"
"	.	250	2802	"
"	.	300	3211	"
reines Eisen	.	0°	0·11164	"
" "	.	50	1237	"
" "	.	100	1380	"
" "	.	150	1595	"
" "	.	200	1882	"
" "	.	250	2241	"
" "	.	300	2672	"
Silber	.	0°	0·05698	"
"	.	50	5715	"
"	.	100	5749	"
"	.	150	5800	"
"	.	200	5868	"
"	.	250	5953	"
"	.	300	6055	"
Platin	.	0°	0·03239	"
"	.	50	3248	"
"	.	100	3267	"
"	.	150	3295	"
"	.	200	3333	"
"	.	250	3380	"
"	.	300	3475	"
Eis	.	—20° bis 0°	0·513	E. Desains
"	.	—20 " 0°	504	Person
"	.	—14 " 0°	533	Heß
"	.	—78 " 0°	474	Régnault
"	.	—21 " —2°	480	Person

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Bienenwachs } Schmelzpunkt 61·8 °C.	.	—21° b. + 3°	0·4287	Person
„	.	+ 6 „ +26	504	„
„	.	+26 „ +42	. 82	„
„	.	+42 „ +58	1·72	„
Naphtalin } Schmelzpunkt 79·9 °C.	.	—26 „ +18	0·3096	Alluard
„	.	0 „ +20	3208	„
„	.	+20 „ +65	3249	„
Aluminium (2 % Eisen Spuren Si enthalt.)	.	+15 „ 97	0·21224	Régnault
Aluminium Si u. Fe Spuren enthaltend)	.	21 „ 51	0·202	Kopp
Antimon	.	13 „ 106	0·04861	Bède
„	.	15 „ 175	4989	„
„	.	12 „ 209	5073	„
„	.	0 „ 100	0·0495	Bunsen
Bor, amorph.	.	18 „ 48	0·254	Kopp
Bor, kryst.	.	0 „ 100	0·2518	Mixter u. Dana
„ „ (mit etw. Al)	.	—39·6	0·1915	H. F. Weber
„ „ „	.	+26·6	0·2382	„ „ „
„ „ „	.	76·7	0·2737	„ „ „
„ „ „	.	125·8	0·3069	„ „ „
„ „ „	.	177·2	0·3378	„ „ „
„ „ „	.	233·2	0·3663	„ „ „
Gold, mit 0·1 % Verunreinigungen	.	12° bis 98°	0·03244	Régnault
Gold, rein	.	0 „ 100	0·0316	Violle
Iridium	.	0 „ 100	0·0323	„
„	.	0 „ 1400	0·0401	„ [Wüllner
Kohlenstoff, Gaskohle	.	24 „ 68	0·2040	Bettendorf und
„ französisch	.	20 „ 1040	0·3145	Dewar
Holzkohle, porös gerein.	.	0 „ 24	0·1653	H. F. Weber
„ „ „	.	0 „ 99	0·1935	„ „ „
„ „ „	.	0 „ 224	0·2385	„ „ „
Graphit von Ceylon (0·38 % Asche)	.	—50·3	0·1138	„ „ „
„ „ „	.	—10·7	0·1437	„ „ „
„ „ „	.	+10·8	0·1604	„ „ „
„ „ „	.	61·3	0·1990	„ „ „
„ „ „	.	138·5	0·2542	„ „ „
„ „ „	.	201·6	0·2966	„ „ „
„ „ „	.	249·3	0·3250	„ „ „
„ „ „	.	641·9	0·4454	„ „ „
„ „ „	.	822·0	0·4539	„ „ „
„ „ „	.	977·0	0·4670	„ „ „
Graphit	.	19° bis 1040°	0·310	Dewar

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Diamant	.	—50·5°	0·0635	H. F. Weber
"	.	—10·6	0·0955	" " "
"	.	+10·7	0·1128	" " "
"	.	33·4	0·1318	" " "
"	.	58·3	0·1532	" " "
"	.	85·5	0·1765	" " "
"	.	140·0	0·2218	" " "
"	.	206·1	0·2733	" " "
"	.	247·0	0·3026	" " "
"	.	606·7	0·4408	" " "
"	.	806·7	0·4489	" " "
"	.	985·0	0·4589	" " "
"	.	15 bis 1010	0·366	Dewar
Palladium	.	0 " 100	0·0592	Violle
"	.	0 " 1265	0·0714	"
Platin	.	0 " 100	0·0323	"
"	.	0 " 784	0·0365	"
"	.	0 " 1000	0·0377	"
"	.	0 " 1177	0·0388	"
Silicium, krystallisirt	.	—39·8	0·1360	H. F. Weber
" "	.	+21·6	0·1697	" " "
" "	.	57·1	0·1833	" " "
" "	.	86·0	0·1901	" " "
" "	.	128·7	0·1964	" " "
" "	.	184·3	0·2011	" " "
" "	.	232·4	0·2029	" " "
Zink	.	19° bis 47°	0·0932	Kopp
"	.	0 " 100	0·0935	Bunsen
Zinn, allotrop	.	0 " 100	0·0545	"
" gegossen	.	0 " 100	0·0559	"
" flüssig	.	250 " 350	0·0637	Person
Legirungen.				
Messing (80 Cu + 20 Zn) spröde	.	15 " 98	0·0858	Régnault
Messing (80 Cu + 20 Zn) weich	.	14 " 98	0·0862	"
D'Arcet's Legir., fest	.	12 " 50	0·049	Person
(32·5 Pb + 49·0 Bi + 18·5 Sn) fest	.	14 " 80	0·060	"
(32·5 Pb + 49·0 Bi + 18·5 Sn) flüssig	.	107 " 136	0·047	"
(32·5 Pb + 49·0 Bi + 18·5 Sn) flüssig	.	136 " 300	0·036	"

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Rose's Legir., fest	.	19° bis 94°	0·06082	Régnault
(24·1 Pb + 48·4 Bi + 27·5 Sn) flüssig	.	119 „ 338	0·04217	Person
31·8 Pb + 32·0 Bi + 36·2 Sn, fest	.	18 „ 52	0·0423	„
31·8 Pb + 32·0 Bi + 36·2 Sn, fest	.	11 „ 98	0·04476	Régnault
31·8 Pb + 32·0 Bi + 36·2 Sn, flüssig	.	143 „ 330	0·046	Person
21·6 Sb + 36·7 Bi + 41·7 Sn	.	22 „ 99	0·04621	Régnault
17·5 Sb + 29·9 Bi + 18·7 Zn + 33·9 Sn	.	20 „ 99	0·05657	„
37·1 Sb + 62·9 Pb	.	10 „ 98	0·03880	„
39·9 Pb + 60·1 Bi, fest	.	16 „ 99	0·03165	Person
„ „ flüssig	.	144 „ 358	0·03500	„
63·7 Pb + 36·3 Sn	.	12 „ 99	0·04073	Régnault
46·7 Pb + 53·3 Sn	.	10 „ 99	0·04507	„
63·8 Bi + 36·2 Sn	.	20 „ 99	0·04001	„
46·9 Bi + 53·1 Sn	.	20 „ 99	0·04504	„
56·9 Bi + 43·1 Sn, fest	.	17 „ 99	0·0450	Person
„ „ flüssig	.	146 „ 275	0·0454	„
Amalgame	.			
50·9 Pb + 49·1 Hg	.	23 „ 99	0·03827	Régnault
37·1 Sn + 62.9 Hg	.	22 „ 99	0·07294	„
54·1 „ + 45·9 Hg	.	25 „ 99	0·06591	„
Oxyde	.			
Aluminiumoxyd, Al_2O_3, Korund	.	9 „ 98	0·19762	„
Aluminiumoxyd, Al_2O_3, Sapphir	.	8 „ 97	0·21733	„
Pb O, Bleiglätte	.	19 „ 50	0·0553	Kopp
„ „	.	22 „ 98	0·05118	Régnault
Borsäure	.	16 „ 98	0·23744	„
Chromoxyd, Cr_2O_3	.	21 „ 52	0·177	Kopp
Eisenoxyduloxyd, Fe_3O_4	.	18 „ 45	0·156	„
Eisenoxyduloxyd, Fe_3O_4	.	24 „ 99	0·16779	Régnault
Eisenoxyd, Fe_2O_3	.	19 „ 44	0·1565	Kopp
„	.	15 „ 98	0·16695	Régnault
Kupferoxydul, Cu_2O	.	19 „ 51	0·111	Kopp
Kupferoxyd, CuO	.	19 „ 51	0·128	„

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Kupferoxyd, CuO	.	12° bis 98°	0·14201	Régnault
Magnesia, MgO	.	24 " 100	0·24394	"
Manganoxydul, MnO	.	13 " 98	0·15701	"
Manganhyperoxyd, MnO_2	.	17 " 48	0·159	Kopp
Manganoxydhydrat, Mn_2O_3, H_2O	.	20 " 52	0·1716	"
Mn_3O_4	.	—	0·1700	Régnault
Kieselsäure, SiO_2, Quarz	.	20 " 50	0·186	Kopp
Kieselsäure, SiO_2, Quarz	.	13 " 99	0·19135	Régnault
Kieselsäure SiO_2, Opal	.	21 " 52	0·185	Kopp
" Hyalith	.	19 " 47	0·1755	"
Zinkoxyd, ZnO	.	17 " 98	0·12480	Régnault
Zinnoxyd, SnO_2, Zinnstein	.	17 " 47	0 0894	Kopp
Zinnoxyd, SnO_2, Zinnstein	.	16 " 98	0·09359	Régnault
Spinell, $MgAl_2O_4$	.	15 " 47	0·194	Kopp
Wollastonit, $CaSiO_3$	.	19 " 51	0·178	"
Bleisulfid, PbS	.	16 " 48	0·0490	"
" "	.	16 " 98	0·05086	Régnault
Eisensulfür, FeS	.	17 " 98	0·13570	"
Eisensulfid, FeS_2	.	18 " 47	0·1255	Kopp
" "	.	19 " 98	0·13009	Régnault
Kupfersulfür, Cu_2S	.	19 " 52	0·120	Kopp
" "	.	9 " 97	0·12118	Régnault
Quecksilbersulfid, HgS Zinnober	.	22 " 51	0·0517	Kopp
Quecksilbersulfid, HgS Zinnober	.	14 " 98	0·05118	Régnault
Zinkblende, ZnS	.	16 " 46	0·120	Kopp
" "	.	15 " 98	0·12303	Régnault
$CuFeS_2$	.	19 " 48	0·131	Kopp
Bleicarbonat, $PbCO_3$	.	16 " 47	0·0791	"
Calciumcarbonat, $CuCO_3$, Kalkspath	.	16 " 48	0·206	"
Calciumcarbonat, $CuCO_3$, Kalkspath	.	20 " 100	0·20857	Régnault
Calciumcarbonat, Aragonit	.	16 " 45	0·203	Kopp

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Calciumcarbonat, $Cu\,CO^3$, Aragonit	.	18° bis 99°	0·20850	Régnault
Marmor, weiß	.	16 „ 98	0·21585	„
„ grau	.	23 „ 98	0·20990	„
Eisencarbonat, $Fe\,CO_3$	.	9 „ 98	0·19345	„
Kalium „ $K_2\,CO_3$	.	17 „ 47	0·206	Kopp
„ „ „	.	23 „ 99	0·21623	Régnault
Natrium „ $Na_2\,CO_3$	.	18 „ 48	0·246	Kopp
„ „ „	.	16 „ 98	0·27275	Régnault
Magnesia „ $Mg\,CO_3$	.	—	0·220	„
Dolomit „	.	—	0·2174	„
Eis	.	—78 „ 0°	0·4627	„
„	.	—30 „ 0	0·505	Person
„	.	—21 „ —1	0·5017	„
Glas	.	0 „ 300	0·190	Dulong & Petit
„	.	14 „ 99	0·19768	Régnault
Hochofenschlacke	.	—	0·195	„
Asche	.	—	0·20	„
Ziegelstein	.	—	0·189 b. 0·241	„
Glasthränen, hart	.	25 „ 98	0·1923	„
„ weich	.	25 „ 98	0·1937	„
Flußspath, $Cu\,F_2$	.	.	0·2082	Naumann
„ „	.	.	0·2149	Régnault
„ „	.	.	0·209	Kopp
Kryolith, $Al\,Na_3\,F_6$	.	.	0·238	„
Magneteisenstein, $Fe_3\,O_4$	.	.	0·1641	Naumann
Magneteisenstein, $Fe_3\,O_4$	.	.	0·1678	Régnault
Magneteisenstein, $Fe_3\,O_4$	.	.	0·156	Kopp
Chromeisenstein, $Mg_{\frac{1}{2}}\,Fe_{\frac{1}{2}}\,Cr_{\frac{3}{2}}\,Al_{\frac{1}{2}}\,O_4$	.	.	0·159	„
Eisenoxyd, $Fe_2\,O_3$, künstlich, schwach geglüht	.	.	0·1757	Régnault
Eisenoxyd, $Fe_2\,O_3$ künstlich, stark geglüht	.	.	0·1681	„
Eisenglanz, Fe_2O_3	.	.	0·1692	Naumann
„ „	.	.	0·1670	Régnault
„ „	.	.	0·154	Kopp

Körper	Specifisches Gewicht	Temperatur °C.	Specifische Wärme	Beobachter
Manganit, $Mn_2 O_3$, H_2O	.	.	0·176	Kopp
Pyrolusit, $Mn O_2$	.	.	0·159	"
Quarz, $Si O_2$	.	.	0·1883	Naumann
Zinnstein, $Sn O_2$	.	.	0·0931	"
Kalkspath, $Ca CO^3$	.	.	0·2046	"
Aragonit, $Ca CO^3$	.	.	0·2018	"
Dolomit, $(Ca,Mg)CO^3$	.	.	0·2161	"
Spateisenstein, $FeCO^3$	.	.	0·182	"
Magnesitspath, $Mg_{\frac{7}{9}} Fe_{\frac{2}{9}} CO_3$	.	.	0·227	"
Weißbleierz, $Pb CO_3$	.	.	0·0814	"
Strontianit, $Sr CO_3$	.	.	0·1445	"
Diopsid aus Tirol $Ca_{\frac{1}{2}} Mg_{\frac{1}{2}} Si O_3$	.	.	0·1906	"
Diopsid aus Tirol $Ca_{\frac{1}{2}} Mg_{\frac{1}{2}} Si O_3$	.	.	0·186	Kopp
Dioptas, $Ca Si O_3$, H_2O	.	.	0·182	"
Olivin, $Mg_{\frac{20}{11}} Fl_{\frac{2}{11}} Si O_4$	.	.	0·189	"
Chrysolith, $Mg_{\frac{20}{11}} Fl_{\frac{2}{11}} Si O_4$	.	.	0·189	"
Chrysolith, $Mg_{\frac{20}{11}} Fl_{\frac{2}{11}} Si O_4$		.	0·2056	Naumann
Abular, $Al_2 K_2 Si_6 O_{16}$	.	.	0·1861	"
Orthoklas, $Al_2 K_2 Si_6 O_{16}$	.	.	0·1911	"
Orthoklas, $Al_2 K_2 Si_6 O_{16}$	.	.	0·183	Kopp
Albit, $Al_2 Na_2 Si_6 O_{16}$	.	.	0·1961	Naumann
Albit, $Al_2 Na_2 Si_6 O_{16}$	.	.	0·190	Kopp
Magnetkies, $Fe_7 S_3$	.	.	0·1533	Naumann
Schwefelkies, $Fe S_2$	.	.	0·1275	"

Tafel XXXIX. Mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens

nach Schneider's Beobachtungen, sowie nach Weinhold's Formel berechnet, dann die Beobachtungsdaten Schneider's.

Temperatur der Schmiedeisenkugel T	Endtemperatur im Calorimetern t_1	Anfangstemperatur im Calorimetern t_0	Wasserwerth des Calorimeters in *kg* Gs	Gewicht des Wassers in *kg* W	Gewicht der Schmiedeisenkugel in *kg* P	Mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens beobachtet	Mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens nach Weinhold's Formel berechnet	Differenz f
99°	13·3°	12·25°	1·0236	0·98935	0·10942	0·1134	0·1088	+0·0046
99°	17·4	16·4	"	·98515	·10942	0·1129	·1100	+0·0029
250°	16·7	14·9	"	·9827	·06417	0·1209	·1161	+0·0048
272°	15·7	13·9	"	1·02327	·064517	0·1139	·1171	—0·0032
275°	16·0	14·2	"	·017277	·064517	0·1121	·1172	—0·0051
278°	15·9	14·0	"	·0151	·064517	0·1167	·1173	—0·0006
283°	16·5	14·4	"	·0144	·064517	0·1267	·1175	+0·0092
430	14·5	13·8	"	·03505	·014352	0·1242	·1247	—0·0005
430	13·2	11·6	"	·03467	·032737	0·1241	·1246	—0·0005
430	15·5	13·9	"	·034013	·032737	0·1247	·1248	—0·0001
1035	17·9	15·5	"	·02078	·014352	0·1717	·1645	+0·0072
1035	18·8	16·4	"	·02044	·014352	0·1718	·1624	+0·0094

Tafel XL. Mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens

direct gefunden und berechnet von Weinhold sammt zugehörigen Versuchsdaten und den Weinhold'schen Formeln.

Wasserwerth des Calorimeters Gramm	Temperatur der Kugel t_2	Calorimeter: End-temperatur t_1	Calorimeter: Anfangs-temperatur	Gewicht der Kugel	Abgegebene Wärmemengen pro 1 *kg* Substanz W	Mittlere specifische Wärme $\frac{W}{t_2 - t_1}$: gefunden	Mittlere specifische Wärme $\frac{W}{t_2 - t_1}$: berechnet	Fehler f
183·0	900°	25·23°	22·20°	4·045	137·08	**0·1567**	**0·1546**	—0·0021
	874°	27·80	24·75	4·202	132·84	**570**	**529**	—0·0041
	736°	22·83	20·49	4·224	101·37	**422**	**431**	+0·0009
	697°	19·53	17·42	4·053	35·26	**407**	**404**	—0·0003
	522°	26·285	24·885	4·024	63·67	**284**	**302**	+0·0018
	490°	25·16	23·80	4·246	58·62	**261**	**283**	+0·0022
	475°	24·275	22·99	4·180	56·27	**248**	**275**	+0·0027
	248·$_1$°	18·08	17·48	4·241	25·89	**126**	**161**	+0·0035
	247·$_2$°	17·50	16·91	4·176	25·86	**126**	**160**	+0·0034
	235·$_2$°	19·585	19·035	4·176	24·11	**118**	**156**	+0·0038
180·4	99·$_1$°	9·880	9·654	4·019	10·15	**138**	**117**	—0·0021
	99·$_1$°	9·591	9 349	4·241	10·30	**151**	**097**	—0·0054
	99·$_1$°	9·344	9·111	4·176	10·06	**120**	**097**	—0·0023

Wahre specifische Wärme des Schmiedeisens bei der Temperatur t: $ct_1 = c_0 + \alpha t + \beta t^2$

Mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens zwischen t_1 und t_2 °C.:

$$C_{t_1 - t_2} = C_0 + \frac{\alpha}{2}(t_2 + t_1) + \frac{\beta}{3}\frac{(t_2^2 + t_1^2 + (t_2 + t_1)^2)}{2}$$

worin: $c_0 = 0·105907$ $\alpha = 0·00006538$ $\beta = 0·000000066477$

nach **Weinhold**, sowie die zugehörigen Versuchsdaten desselben.

Wasserwerth des Calorimeters Gramm	Temperatur der Kugel t_2	Calorimeter		Abgegebene Wärmemengen pro 1 *kg* Substanz W	Mittlere specifische Wärme $\frac{W}{t_2 - t_1}$
		End-temperatur t_1	Anfangs-temperatur		
183·0	952°	17·28°	15·64°	31·160	0·03333
	934	22·35	20·72	30·973	3396
	766	23·61	22·29	25·086	3381
	705	20·655	19·455	22·801	3333
	507	25·435	24·61	15·679	3253
	478	24·64	23·87	14·630	3230
	476	23·47	22·71	14·443	3188
	256·8	17·20	16·77	8·172	3411
	246·4	16·915	16·49	8·078	3520
	238·5	16·49	16·08	7·787	3508
180·4	99·1	10·359	10·203	2·918	3290
	99·1	10·198	10·043	2·907	3270
	99·1	10·039	9·882	2·938	3297

Hieraus scheint hervorzugehen, daß die specifische Wärme des Platins von der Temperatur nahezu unabhängig ist, während nach **J. Violle** die wahre specifische Wärme des Platins bis 1200 °C. gegeben ist durch die Gleichung:

$$c_t = 0{\cdot}0317 + 0{\cdot}000012\ t$$

Für die wahre specifische Wärme des **Iridium** zwischen 0° und 1400° stellte derselbe Forscher die nachfolgende Gleichung auf:

$$c_t = 0{\cdot}0317 + 0{\cdot}000006\ t$$

Tafel XLII.

Zusammenstellung der specifischen Wärme verschiedener Stoffe im festen und flüssigen Zustande.

Substanz	fest		tropfbarflüssig	
	Temperaturintervall °C	specifische Wärme	Temperaturintervall °C	specifische Wärme
Jod	0° bis 100	0·05412	—	0·10822
Schwefel	13 „ 97	0·2026	120° bis 150	0·234
Phosphor	10 „ 30	0·1887	50 „ 100	0·2045
Quecksilber	—40 „ —78	0·0319	0 „ 100	0·0333
Blei	0 „ 100	0·0314	350 „ 450	0·0402
Wismuth	0 „ 100	0·0308	280 „ 380	0·0363
Zinn	0 „ 100	0·0562	250 „ 350	0·0637
Gallium	23 „ 12	0·079	119 „ 12	0·0802
Wasser	— 2 „ —21	0·48	0 „ 20	1·0000
Kaliumnitrat	0 „ 100	0·239	350 „ 435	0·332
Natriumnitrat	0 „ 100	0·278	320 „ 430	0·413
Natriumphosphat, kryst., $Na_2 HPO_4, 12H_2O$	—	0·4077	40 „ 80	0·7467
Chlorcalcium, krystall., $CaCl_2, 6H_2O$	unter 0°	0·345	33·5 „ 80	0·555
Chloralhydrat	17 bis 44°	0·206	51·0 „ 88	0·470

Tafel XLIII.

Specifische Wärme des flüssigen Wassers nach verschiedenen Beobachtern.

Den in dieser Tabelle angegebenen Werthen liegen die nachfolgenden Formeln zu Grunde:

Mittlere specifische Wärme zwischen 0° und t° nach Régnault:

$C_{0-t} = 1 + 0·00002\,t + 0·0000003\,t^2$

dto nach Jamin und Amaury:

$C_{0-t} = 1 + 0·0005\,t + 0·0000004\,t^2$

dto nach Régnault's Versuchen von Bosscha berechnet:

$C_{0-t} = 1 + 0·00011\,t$

dto nach v. Münchhausen's Versuchen von Wüllner berechnet:

$C_{0-t} = 1 + 0·000151\,t$

dto nach Baumgartner's Versuchen von Pfaundler berechnet:
$C_{0-t} = 1 + 0{\cdot}0001515\,t$
Wahre specifische Wärme nach Régnault
$C_t = 1 + 0{\cdot}0000\,4\,t + 0{\cdot}000000\,9\,t^2$
dto nach Jamin & Amaury:
$C_t = 1 + 0{\cdot}00110\,t + 0{\cdot}0000012\,t^2$
dto nach Régnault's Versuchen von Bosscha berechnet:
$C_t = 1 + 0{\cdot}00022\,t$
dto nach v. Münchhausen's Versuchen von Wüllner berechnet:
$C_t = 1 + 0{\cdot}000302\,t$
dto nach Baumgartner's Versuchen von Pfaundler berechnet:
$C_t = 1 + 0{\cdot}0003030\,t$
dto nach Henrichsen:
$C_t = 1 + 0{\cdot}0003156\,t + 0{\cdot}000004045\,t^2$

t° Luftthermometer	Mittlere specifische Wärme zwischen 0° und t°	Wahre specifische Wärme bei t°					
	Régnault		Jamin & Amaury	Bosscha	v. Münchhausen	Henrichsen	Baumgartner
0°	—	1·0000	1·0000	1·0000	1·0000	1·0000	1·0000
10	1·0002	1·0005	1·0111	1·0022	1·0043	1·0036	1·0031
20	1·0005	1·0012	1·0225	1·0044	1·0085	1·0079	1·0061
30	1·0009	1·0020	1·0341	1·0066	1·0128	1·0131	1·0092
40	1·0013	1·0030	1·0459	1·0088	1·0170	1·0191	1·0123
50	1·0017	1·0042	1·0580	1·0110	1·0213	1·0259	1·0154
60	1·0023	1·0056	1·0703	1·0132	1·0255	1·0335	1·0184
70	1·0030	1·0072	1·0829	1·0154	1·0298	1·0419	1·0215
80	1·0035	1·0090	1·0957	1·0176	1·0340	1·0511	1·0246
90	1·0042	1·0109	1·1087	1·0198	1·0383	1·0612	1 0276
100	1·0050	1·0130	1·1220	1·0220	1·0425	1·0720	1·0307
110	1·0058	1·0153	1·1355	1·0242	1·0468	1·0837	1·0338
120	1·0067	1·0177	1·1493	1·0264	1·0510	1·0961	1·0368
130	1·0076	1·0204	1·1632	1·0286	1·0553	1·1094	1·0399
140	1·0087	1·0232	1·1775	1·0308	1·0595	1·1235	1·0430
150	1·0097	1·0262	1·1920	1·0330	1·0638	1·1384	1·0461
160	1·0109	1·0294	1·2067	1·0352	1·0680	1·1540	1·0491
170	1·0121	1·0328	1·2217	1·0374	1·0723	1·1706	1·0522
180	1·0133	1·0364	1·2369	1·0396	1·0765	1·1879	1·0553
190	1·0146	1·0401	1·2523	1·0418	1·0808	1·2060	1·0583
200	1·0160	1·0440	1·2680	1·0440	1·0850	1·2249	1·0614
210	1·0174	1·0481	1·2839	1·0462	1·0893	1·2547	1·0645
220	1·0189	1·0524	1·3001	1·0484	1·0935	1·2652	1·0675
230	1·0204	1·0568	1·3165	1·0506	1·0978	1·2866	1·0706

Tafel XLIV. Specifische Wärme des flüssigen Quecksilbers.

Temperaturgrenzen	Mittlere specifische Wärme	Beobachter
49·6 bis 19·7°	0·03312	A. Winkelmann
142·2 „ 25·5°	0·03278	„
0° „ 5°	0·033266	O. Petersson
5° „ 36°	0·033299	„
15° „ 100°	0·03332	Régnault
0° „ 100°	0·0330	Dulong et Petit
0° „ 300°	0·0350	„ „ „

Tafel XLV. Formeln für die specifische Wärme einiger Körper bei verschiedenen Temperaturen.

Körper	Specifische Wärme	Beobachter
Alkohol	$C_{0-t} = 0·54754 + 0·0011218\,t + 0·000002206\,t^2$	Régnault
	$C_t = 0·42291912 + 0·0054814903\,t - 0·00003966255\,t^2 + 0·00000020246464\,t^3$	Hirn
Diamant	$C_{0-t} = 0·0947 + 0·000495\,t - 0·00000012\,t^2$	H. F. Weber
	$C_t = 0·0947 + 0·000494\,t - 0·00000036\,t^2$	„
Palladium	$C_{0-t} = 0·0582 + 0·000010\,t$	J. Violle
	$C_t = 0·0582 + 0·000020\,t$	„
Platin	$C_{0-t} = 0·0317 + 0·000006\,t$	„
	$C_t = 0·0317 + 0·000012\,t$	„
Iridium	$C_{0-t} = 0·0317 + 0·000006\,t$	„
Schmiedeisen	$C_{0-t_1} = 0·105907 + 0·00003269\,(t + t_1) + 0·00000001108\,[t^2 + t_1{}^2 + (t + t_1)^2]$	Schneider

Tafel XLVI. Specifische Wärmen einiger Flüssigkeiten

bei höherer Temperatur nach G. A. Hirn.

Temperatur	Specifische Wärme				
	Chlorkohlenstoff	Schwefelkohlenstoff	Alkohol	Terpentinöl	Aether
30°	0·207202	0·23878	—	—	—
40	0·2095997	0·242594	0·59167637	0·46842116	0·61965067
50	0·211533	0·246143	—	—	—
60	0·2133591	0·248967	—	—	—
70	0·2149066	0·252141	—	—	0·66128878
80	0·2162598	0·255309	0·71125991	0·52421905	—
90	0·2177109	0·258496	—	—	—
100	0·2195151	0·262172	—	—	0·71586594
110	0·220726	0·264901	—	—	—
120	0·221828	0·268137	0·85941613	0·57117195	—
130	0 2236305	0·271404	—	—	0·79512984
140	0·2260645	0·276782	—	—	—
150	0·2291237	0·282198	—	—	—
160	0·2327877	0·288195	1·11389145	0·61257810	—

Tafel XLVII. Specifische Wärme einiger Körper

im flüssigen und im dampfförmigen Zustande

Substanz	Dampf		Flüssigkeit	
	C_0	α	C_0	α
Chloroform	0·1341	0·0000677	0·23235	0·000050716
Schwefelkohlenstoff	0·1315	0·0000963	0·23523	0·000081515
Aethylbromid	0·1354	0·0001780	—	—
Aether	0·3725	0·0004268	0·52901	0·0002958
Aceton	0·2984	0·0003869	0·5064	0·0003965
Essigäther	0·2738	0·0004350	0·52741	0·0005232
Benzin	0·2237	0·0005114	0·37980	0·0007200

C_0 = spec. Wärme bei constantem Drucke bei 0° C. und auf die Gewichtseinheit bezogen.

2α = Aenderung derselben für 1° C.

Tafel XLVIII. Zunahme der specifischen Wärme der Gase
bei steigender Temperatur nach Naumann „Thermochemie".

Gas	Specifische Wärme							Specifisches Gewicht	$\frac{PV}{P_1 V_1}$
	gleicher Gewichte				gleicher Volumen				
	bei 0°	bei 100°	bei 200°	Unterschied %	bei 0°	bei 100°	bei 200°		
Luft	0·2389	—	—	0	0·2389	—	—	1	1·00215
Wasserstoff	3·410	—	—	0	0·2359	—	—	0·0692	—
Kohlenoxyd	0·2426	—	—	0	0·2346	—	—	0·967	1·00293
Kohlensäure	0·1952	0·2169	0·2387	22·28	0·2985	0·3316	0·3650	0·529	1·00722
Aethylen	0·3364	0·4189	0·5015	49·08	0·3254	0·4052	0·4851	0·9677	—
Stickoxydul	0·1988	0·2212	0·2442	23·15	0·3014	0·3362	0·3712	1·5241	1·00651
Ammoniak	0·5009	0·5317	0·5629	12·38	0·2952	0·3184	0·3318	0·5894	1·01881

NB. Die vierte Columne gibt den Unterschied der wahren spezifischen Wärme bei 0° und 200°, ausgedrückt in Prozenten der spezifischen Wärme bei 0°, die letzte enthält das Verhältniß der Produkte aus dem Volum V und V_1 und dem Drucke P und P_1, wenn P etwa 1 Atm. dagegen P_1 etwa 2 Atm. beträgt. Die Abweichung dieser Zahlen von der Einheit kann als ein Maß für ihre Abweichung vom vollkommenen Gaszustande dienen.

Tafel XLIX. Spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen bei constantem Drucke.

Substanz	Temperatur	spezifische Wärme Cp	Beobachter
Atmosph. Luft	−30° bis + 10°	0·23771	Régnault
" "	0 " 100°	0·23741	"
" "	20 " 100	0·2389	Wiedemann
" "	0 " 200	0·23751	Régnault
Sauerstoff	13 " 207	0·21751	"
Stickstoff, berechnet	0 " 200	0·2438	"
Wasserstoff	−28 " + 9	3·3996	"
"	+21 " 100	3·410	Wiedemann
"	12 " 198	3·4090	Régnault
Chlor	13 " 202	0·1241	"
"	16 " 343	0·1155	Strecker

Substanz	Temperatur	spezifische Wärme c_p	Beobachter
Chlorwasserstoff, HCl	13° bis 100°	0·1940	Strecker
" "	22 " 214	0·1867	Régnault
Kohlenoxyd, CO	23 " 99	0·2425	Wiedemann
" "	26 " 198	0·2426	"
Kohlensäure, CO_2	—28 " + 7	0·18427	Régnault
" "	15 " 100	0·20246	"
" "	11 " 214	0·21692	"
Stickoxydul, N_2O	16 " 207	0·22616	"
" "	26 " 103	0·2126	Wiedemann
" "	27 " 206	0·2241	"
Stickoxyd, NO	13 " 172	0·23173	Régnault
Schweflige Säure, SO_2	16 " 202	0·15439	"
Schwefelwasserstoff H_2S	20 " 206	0·24514	"
Ammoniak, NH_3	23 " 100	0·5202	Wiedemann
" "	27 " 200	0·5356	"
" "	24 " 216	0·51246	Régnault
Schwefelkohlenstoff, CS_2	86 " 190	0·15956	"
Wasserdampf. H_2O	128 " 217	0·48051	"
Methan, CH_4	18 " 208	0·59295	"
Aethylen, C_2H_4	24 " 100	0·3880	Wiedemann
" unrein "	27 " 200	0·4293	"
" " "	10 " 202	0·4040	Régnault
Alkohol, C_2H_6O	108 " 220	0·45341	"
Aether, $C_4H_{10}O$	25 " 111	0·4280	Wiedemann
" "	27 " 189	0·4618	"
" "	69 " 224	0·47966	Régnault
Benzol, C_6H_6	34 " 115	0·2990	Wiedemann
" "	35 " 180	0·3325	"
" "	116 " 218	0·3754	Régnault
Terpentinöl, $C_{10}H_{16}$	179 " 249	0·5061	"
Methylalkohol, CH_4O	101 " 223	0·45802	"
Aceton, C_3H_6O	26 " 110	0·3468	Wiedemann
" "	27 " 179	0·3740	"
" "	129 " 233	0·41246	Régnault

Tafel L. Specifische Wärme von Gasen und Dämpfen bei constantem Volum

nach Clausius.

Substanz	Specifische Wärme bei constantem Volum		Specifisches Gewicht bezogen auf Luft = 1
	bezogen auf das gleiche Gewicht Wasser C_v	bezogen auf das gleiche Volum Luft C_p	
Atmosph. Luft	0·1684	1·000	1·0000
Sauerstoff	0·1551	1·018	1·1056
Stickstoff	0·1727	0·996	0·9713
Wasserstoff	2·411	0·990	0·0692
Chlor	0·0928	1·350	2·4502
Stickoxyd, NO	0·1652	1·018	1·0384
Kohlenoxyd, CO	0·1736	0·997	0·9673
Chlorwasserstoff, HCl	0·1304	0·975	1·2596
Kohlensäure, CO_2	0·172	1·55	1·5201
Stickoxydul, N_2O	0·181	1·64	1·5241
Wasserdamf, H_2O	0·370	1·36	0·6219
Schweflige Säure, SO_2	0·123	1·62	2·2113
Schwefelwasserstoff, H_2S	0·184	1·29	1·1747
Schwefelkohlenstoff, CS_2	0·131	2·04	2·6258
Methan, CH_4	0·468	1·54	0·5527
Chloroform, $CHCl_3$	0·140	3·43	4·1244
Aethylen, C_2H_4	0·359	2·06	0·9672
Ammoniak, NH_3	0·391	1·37	0·5894
Benzol, C_6H_6	0·350	5·60	2·6942
Methylalkohol, CH_4O	0·395	2·60	1·1055
Aethylalkohol, C_2H_6O	0·410	3·87	1·5890
Aether, $C_4H_{10}O$	0·453	6·87	2·5573
Schwefeläthyl, $C_4H_{10}S$	0·379	6·99	3·1101
Aethylchlorid, C_2H_5Cl	0·243	3·21	2·2269
Aethylbromid, C_2H_5Br	0·171	3·76	3·7058
Aethylenchlorid, $C_2H_4Cl_2$	0·209	4·24	3·4174
Aceton, C_3H_6O	0·378	4·50	2·0036
Essigäther, $C_4H_8O_2$	0·378	6·82	3·0400
Zinnchlorid, $SnCl_4$	0·086	4·59	8·9654

afel LI. Verhältnis K der specifischen Wärmen einiger ase und Dämpfe bei constantem Druck und bei constantem Volum.

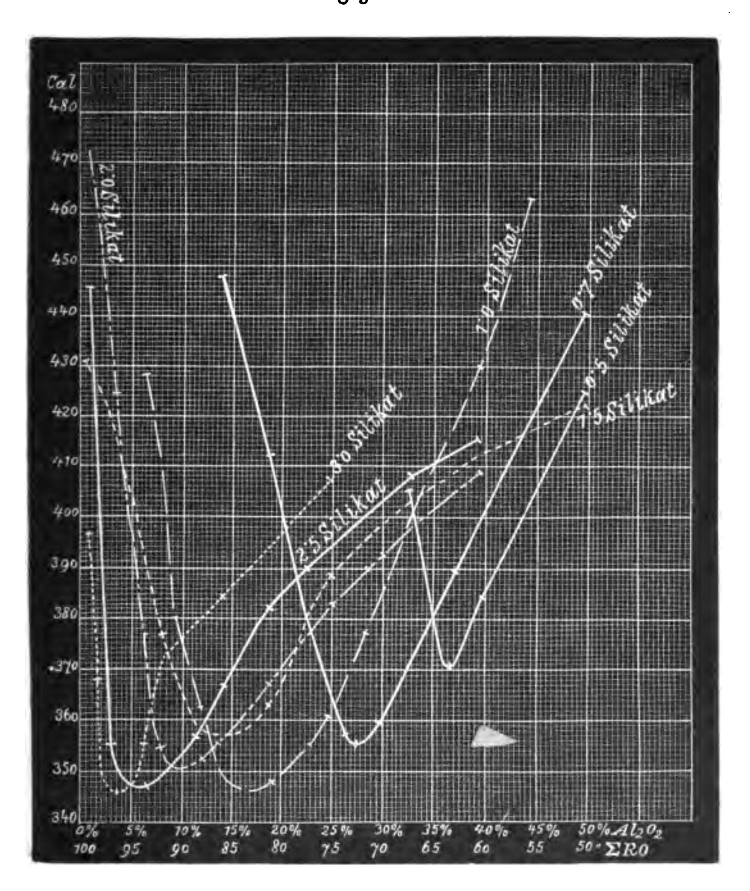
Substanz	Temperatur	K	Beobachter
Atmosphärische Luft	18°	1·4053	Röntgen
〃 〃	0	1·40526	Wüllner
〃 〃	100	1·40289	〃
〃 〃	—	1·4106	Kaiser
Quecksilber	257 bis 356	1·666	Kundt & Warburg
Wasserstoff (unsicher)	—	1·3852	Röntgen
Chlor	20 bis 340	1·323	Strecker
Brom	20 〃 388	1·293	〃
Jod	220 〃 375	1·294	〃
Chlorwasserstoff, HCl	20°	1·389	〃
〃 〃	100	1·400	〃
Bromwasserstoff, HBr	20	1·422	〃
〃 〃	100	1·440	〃
Jodwasserstoff, HJ	20	1·397	〃
〃 〃	100	1·396	〃
Chlorjod, ClJ	100	1·315	〃
〃 〃	200	1·321	Wüllner
Kohlenoxyd, CO	0	1·40320	〃
〃 〃	100	1·39465	Röntgen
Kohlensäure, CO_2	19	1·3052	Wüllner
〃 〃	0	1·31131	〃
〃 〃	100	1·28212	〃
Stickoxydul N_2O	0	1·3106	〃
〃 〃	100	1·27238	〃
Ammoniak, NH_3	0	1·3172	〃
〃 〃	100	1·2770	〃
Aethylen, C_2H_4	0	1·24548	〃
〃 〃	100	1·1870	〃

Tafel LII. Latente Schmelzwärme einiger Stoffe,

bezogen auf die zur Erwärmung von 1 *kg* Wasser von 0° auf 1° erforderliche Wärmemenge.

Substanz	Temperatur °C. der Schmelzung	Schmelzwärme Calorien	Beobachter
Blei	325°	5·858	Rudberg
〃	326·2	5·369	Person
Brom	— 7·32	16·185	Régnault
Cadmium	320·7	13·66	Person
Gußeisen, weiß	—	33	Gruner
〃 , grau	—	23	〃
Hochofenschlacke	—	50	〃
Gallium	13	19·11	Berthelot
Jod	—	11·71	Favre u. Silbermann
Palladium	—	36·3	Violle
Phosphor	44·2	5·4	Desains
〃	27·35	4·744	Pettersson
〃	29·73	4·744	〃
〃	35·51	4·855	〃
〃	40·05	4·970	〃
〃	44·2	5·034	Person
Platin	1779	27·18	Violle
Quecksilber	—	2·82	Person
Schwefel	115	9·368	〃
Silber	999	21·07	〃
Wismuth	266·8	12·64	〃
Zink	415·3	28·13	〃
Zinn	228	13·314	Rudberg
〃	232·7	14·252	Person
D'Arcet Legirung: (32·5 Pb + 49·0 Bi + 18·5 Sn)	96	5·96	〃
Legirung: 31·8 Pb + 32·0 Bi + 36·2 Sn	145	7·63	〃
Jodmonochlorid, ClJ (unsicher)	16·5	14·15	Berthelot
Chlorcalcium, $CaCl_2 + 6H^2O$	28·5	40·7	Person
Kaliumnitrat, KNO_3	333·5	48·9	〃
Natriumnitrat, $NaNO_3$	305·8	64·87	〃
Natriumchromat, $Na_2CrO_4 + 10H_2O$	10·5	34·42	Berthelot
〃	23	37·43	〃
Natriumphosphat, $Na_2HPO_4 + 12H^2O$	36·1	66·8	Person
Natriumhyposulfit, $Na_2S_2O_7 + 5H^2O$	9·86	37·6	v. Trentinaglia

Fig. 49.



Graphische Darstellung der Schmelzwärmen von Kalk-Thonerde-Schlacken nach R. Åkerman.

Substanz	Temperatur °C. der Schmelzung	Schmelzwärme Calorien	Beobachter
Bihydrat der Schwefelsäure, $H_2SO_4 + H_2O$	11·5	31·72	Berthelot
Ameisensäure, CH_2O_2	— 7·5	57·38	Petterson
Essigsäure, $C_2H_4O_2$	2·9 bis 5·6	44·34	"
Salpetersäure Anhydrid, N_2O_5	—	76·67	Berthelot
Phosphorsäure, H_3PO_3	18	37·44	Thomsen
Orthophosphorsäure, H_3PO_4	18	25·71	"
Unterphosphorige Säure, H_3PO_2 (unsicher)	17·4	36·36	"
Glycerin, $C_3H_8O_3$	13	42·50	Berthelot
Benzol, C_6H_6	1·95	29·089	Petterson
Chloralhydrat, $C_2H_3Cl_3O_2$	—	33·22	Berthelot
Naphtalin, $C_{10}H_8$	79·97	35·679	Alluard
Nitrobenzol, $C_6H_5NO_2$	— 9·21	22·30	Petterson
Parabromtoluol, $C_6H_4Br_2CH_3$	16·53	20·15	"
Paratoluidin, $C_6H_4NH_2CH_3$	28·36	35·789	"
Phenol, C_6H_5OH	25·37	24·93	"
Bienenwachs	61·8	42·3	Person
Eis	0	75	Rudberg
"	—	79·25	De la Provostaye und Desains
"	0	79·24	Régnault
"	0	79·06	"
"	0	79·25	Person
"	— 10°	74·2	"
"	—2 bis —21°	80·02	"
"	—3 " —13·6	80·34	Heß
"	0	80·025	Bunsen
"	— 2·8	77·85	Petterson
"	— 4·995	76·75	"
"	— 6·28	76·11	"
"	— 6·50	76·00	"
Meerwasser, 3·535 % feste Substanz enthaltend	— 9	54·69	"
" "	— 8·35	53·41	" *)

*) Hierher gehört auch die interessante Arbeit von Richard Åckerman „om de för olika masugn slaggers smältning nödiga värmebehofven," welchen wir die nebenstehende graphische Darstellung der Schmelzwärmen von Kalk-Thonerde-Schlacken entnehmen. (Fig. 49.)

Die Abscissenachse gibt das Verhältniß der Thonerdeäquivalente zu der Summe der Äquivalente der RO Basen an und in Procenten der Gesammt-Basen-Äquivalente; die Ordinatenachse gibt die Schmelzwärme pro Kilogramm der betreffenden Schlacke in Calorien.

Tafel LIII. Totale Schmelzwärme einiger Substanzen (bis 0° C.)

Substanz	Temperatur der Schmelzung in° C.	Schmelzwärme in Calorien	Beobachter
Britanniametall	236°	28·0	Ledebur
Gießereiroheisen vom Hochofen	.	337	Gillot
" " "	.	337	Boulanger & Dulait
" " "	.	330	de Bathaire
" " "	.	270—311	Rinman
" " "	.	278—292	Gruner
" vom Cupolofen	.	265	Gillot
" " "	.	292	Minary und Résal
" " "	.	270—275	Gruner
Bessemerroheisen Terrenoire (vom Hochofen)	.	278	"
Bessemerroheisen, Givors (vom Hochofen)	.	280	"
Weißes Eisen	.	309	Boulanger & Dulait
" "	.	280	de Bathaire
" " Givors	.	258	Gruner
Glasige Holzkohleneisenschlacke	.	370—380	Gillot
Bessemerroheisenschlacke	.	405	Gruner
Gießereiroheisenschlacke	.	492	Boulanger & Dulait
Gießereieisenschlacke	.	441	Rinman
Puddelroheisenschlacke	.	433	Boulanger & Dulait
Bisilicatschlacke	.	434	Gruner
Puddelroheisenschlacke	.	430	Rinman
"	.	441	Gruner

Tafel LIV. Latente Verdampfungswärme einiger Stoffe.

Substanz	Temperatur der Verdampfung in C.	Verdampfungs-Wärme in Calorien	Beobachter
Brom	58°	45·60	Andrews
Jod	—	23·95	Favre & Silbermann
Quecksilber	350	62·00	Person
Schwefel	316	362·00	"
Phosphorchlorür PCl_3	78·5	51·42	Andrews
Schwefelchlorid, S_2Cl_2	—	49·37	Ogier
Zinnchlorid, $SnCl_4$	112·5	30·53	Andrews
Stickoxydul, N_2O	—	100·6	Favre
Ammoniak, NH_3	7·8	294·21	Régnault
" "	11·0	291·32	"
" "	16·0	297·38	"
Schweflige Säure, SO_2	—	94·56	Favre & Silbermann
" "	—	88·3	Favre
Schwefelsäureanhydrid SO_3	18	147·5	Berthelot
Wässerige Schwefelsäure, H_2SO_4	326	122·12	Person
Salpetersäureanhydrid, N_2O_5	—	44·81	Berthelot
Wässerige Salpetersäure, HNO_3	—	115·08	"
Wasser	100	535·9	Andrews
"	99·81	535·77	Favre & Silbermann
Schwefelkohlenstoff CS_2	46·6	105·68	Person
" "	46·2	86·67	Andrews
Kohlensäure, flüssig (unsicher)	0	49·319	Régnault
" " "	4·93	47·873	"
" " "	8·81	46·204	"
Methylalkohol, CH_4O	—	263·86	Favre & Silbermann
" "	65·8	263·7	Andrews
Aethylalkohol, C_2H_6O, rein	—	208·92	Favre & Silbermann
" mit 1/2 Vol.% H_2O	78·4	214·25	Brix
" rein	77·9	202·40	Andrews
Amylalkohol, $C_5H_{12}O$	—	121·37	Favre & Silbermann
Cetylalkohol, $C_{16}H_{34}O$	—	58·48	" "
Methyljodid, CH_3J	42·2	46·07	Andrews
Methylenchlorid, CH_2Cl_2	—	75·24	Berthelot & Ogier
Methylal, $C_3H_8O_2$	42	89·87	" "
Aldehyd, C_2H_4O	—	136·36	Berthelot
Aether, $C_4H_{10}O$	34·9	89·96	Brix
" "	—	91·11	Favre & Silbermann
" "	34·9	90·45	Andrews
Aethylenoxyd, C_2H_4O	13·5	338·64	Berthelot
Aethylbromid, C_2H_5Br	—	61·65	"

Substanz	Temperatur der Verdampfung in °C.	Verdampfungs-Wärme in Calorien	Beobachter
Aethylenbromid, $C_2H_4Br_2$	—	43·78	Berthelot
Aethylchlorid, C_2H_5Cl	21·17	89·30	Régnault
Aethylidenchlorid, $C_2H_4Cl_2$	—	67·02	Berthelot & Ogier
Aethyljodid, C_2H_5J	71·3	46·87	Andrews
Amylen, C_5H_{10}	12·5	75·00	Berthelot
Diamylen, $C_{10}H_{20}$	—	49·36	"
Amyläther, $C_{10}H_{22}O$	—	69·40	Favre & Silbermann
Amylbromid, $C_5H_{11}Br$	—	48·34	Berthelot
Amylchlorid, $C_5H_{11}Cl$	—	56·34	"
Amyljodid, $C_5H_{11}J$	—	47·47	"
Chloral, C_2HCl_3O	—	54·10	"
Chloralhydrat, $C_2H_3Cl_3O_2$	—	132·3	"
Ameisensäure, CH_2O_2	—	120·72	Favre & Silbermann
" "	—	103·7	Berthelot & Ogier
Ameisensaures Methyl, $C_2H_4O_2$	32·9	117·1	Andrews
" " "	—	115·2	Berthelot & Ogier
" Aethyl, $C_3H_6O_2$	54·3	105·30	Andrews
" " "	—	100·4	Berthelot & Ogier
Buttersäure, $C_4H_8O_2$	—	114·67	Favre & Silbermann
Buttersaures Methyl, $C_5H_{10}O_2$	—	87·33	" "
Essigsäureanhydrid, $C_4H_6O_3$	137	66·1	Berthelot
Essigsäure, $C_2H_4O_2$	—	121·0	"
Essigsaures Methyl, $C_3H_6O_2$	55	110·2	Andrews
" Aethyl, $C_4H_8O_2$	—	105·796	Favre & Silbermann
" " "	74·6	92·68	Andrews
Oxalsaures " $C_6H_{10}O_4$	184·4	72·72	"
Valeriansäure, $C_5H_{10}O_2$	—	103·52	Favre & Silbermann
Citronöl, $C_{10}H_{16}$	176·1	79·81	Brix
" "	—	70·02	Favre & Silbermann
Steinöl	—	76·275	Brix
Tereben, $C_{10}H_{16}$	—	67·21	Favre & Silbermann
Terpentinöl, $C_{10}H_{16}$	—	76·8	Despretz
" "	159·3	74·04	Brix
" "	—	68·734	Favre & Silbermann

Tafel. LV. Totale Verdampfungswärme einiger Körper
(bis 0 ° C.)

Substanz	Temperatur der Verdampfung in ° C.	Verdampfungswärme in Calorien	Beobachter
Brom	—	50·953	Régnault
Arsenchlorür, $AsCl_3$	—	69·741	"
Phosphorchlorür, PCl_3	—	67·243	"
Zinnchlorid, $SnCl_4$	—	46·838	"
Wasser, H_2O	0	606·5	"
" "	100	637·0	"
" "	230	676·6	"
" "	100	636·2	Berthelot
Chloroform, $CHCl_3$	0	67·00	Régnault
" "	100	80·75	"
" "	160	89·00	"
Kohlenstofftetrachlorid, CCl_4	0	52·00	"
" "	100	64·90	"
" "	160	71·00	"
Schwefelkohlenstoff, CS_2	0	90·00	"
" "	100	100·48	"
" "	140	102·36	"
Kohlensäure, CO_2, starr	—	138·7	Favre
Aethylalkohol, C_2H_6O, rein	0	236·5	Régnault
" " "	20	252·0	"
" " "	50	264·0	"
" " "	100	267·3	"
" " "	150	285·3	"
Amylalkohol, $C_5H_{12}O$	—	211·78	"
Aether, $C_4H_{10}O$	0	94·00	"
" "	50	115·11	"
" "	100	133·44	"
" "	120	140·00	"
Aceton, C_3H_6O	0	140·50	"
" "	100	171·98	"
" "	140	181·69	"
Aethylchlorid, C_2H_5Cl	—	97·70	"
Aethyljodid, C_2H_5I	—	58·95	"
Benzol, C_6H_6	0	109·00	"
" "	100	132·11	"
" "	210	154·50	"
Essigsaures Aethyl, $C_4H_8O_2$	—	154·49	"
Citronöl, $C_{10}H_{16}$	—	160·49	"
Steinöl	—	194·866	"
Terpentinöl, $C_{10}H_{16}$	—	139·15	"

Tafel LVI. Régnault's Formeln für die totale Verdampfungswärme einiger Körper

bei der (variablen) Verdampfungstemperatur t

Substanz	Formel
Wasser, H_2O	$\lambda = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\ t$
Aceton, C_3H_6O	$\lambda = 140{\cdot}5 + 0{\cdot}36644t - 0{\cdot}000516t^2$
Aether, $C_4H_{10}O$	$\lambda = 94{\cdot}0 + 0{\cdot}4500t - 0{\cdot}0005556t^2$
Benzol, C_6H_6	$\lambda = 109{\cdot}0 + 0{\cdot}24429t - 0{\cdot}0009315t^2$
Chloroform, $CHCl_3$	$\lambda = 67{\cdot}0 + 0{\cdot}1375t$
Kohlenstofftetrachlorid CCl_4	$\lambda = 52{\cdot}0 + 0{\cdot}14625t - 0{\cdot}000172t^2$
Schwefelkohlenstoff, CS_2	$\lambda = 90{\cdot}0 + 0{\cdot}14601t - 0{\cdot}0004123t^2$

Tafel LVII. — Tabelle der Verdampfungswärme des Wassers (für gesättigte Wasserdämpfe)

nach Zeuner.*)

Absolute Dampfspannung p		Temperatur t° C.	Gesammtwärme $\lambda = q + \rho + Apu$			$u = s - \sigma$	Dichte γ = Gewicht eines Kubikmeters Dampf in *kg*
				Verdampfungswärme = r			
a Atmosphäre 760 mm Quecksilbersäule	*kg* pro 1 m^2		Flüssigkeitswärme = q (Calorien pro 1 *kg*)	Innere latente Wärme = ρ (Calorien pro 1 *kg*)	äußere latente Wärme = Apu (Calorien per 1 *kg*)		
0·1	1033	46·2	46·282	538·848	35·464	14·5508	0·0687
0·2	2067	60·5	60·589	527·584	36·764	7·5421	0·1326
0·3	3100	69·5	69·687	520·433	37·574	5·1388	0·1945
0·4	4133	76·3	76·499	515·086	38·171	3·9154	0·2553
0·5	5167	81·7	82·017	510·767	38·637	3·1705	0·3153
0·6	6200	86·3	86·262	507·121	39·045	2·6700	0·3744
0·7	7234	90·3	90·704	503·957	39·387	2·3086	0·4330
0·8	8267	93·9	94·304	501·141	39·688	2·0355	0·4910
0·9	9300	97·1	97·543	498·610	39·957	1·8216	0·5487
1·0	10334	100·0	100·500	496·300	40·200	1·6494	0 6059
1·1	11367	102·7	103·216	494·180	40·421	1·5077	0·6628
1·2	12400	105·2	105·740	492·210	40·626	1·3891	0·7194
1·3	13434	107·5	108·104	490·367	40·816	1·2882	0·7757
1·4	14467	109·7	110·316	48·8643	40·993	1·2014	0·8317

*) Die Erklärungen zu dieser Tabelle enthält das Kapitel IV, p.53.

Absolute Dampfspannung p.		Temperatur t° C.	Gesammtwärme $\lambda = q + \rho + Apu$			$u = s - \sigma$	Dichte γ = Gewicht eines Kubikmeters Dampf in kg
				Verdampfungswärme = r			
Atmosphäre à 760 mm Quecksilbersäule	kg pro 1 m^2		Flüssigkeitswärme = q (Calorien pro 1 kg)	Innere latente Wärme = ρ (Calorien pro 1 kg)	äußere latente Wärme = Apu (Calorien pro 1 kg)		
1·5	15501	111·7	112·408	487·014	41·159	1·1258	0·8874
1·6	16534	113·7	114·389	485·471	41·315	1·0595	0·9430
1·7	17568	115·5	116·269	484·008	41·463	1·0007	0·9983
1·8	18601	117·3	118·059	482·616	41·602	0·9483	1·0534
1·9	19635	119·0	119·779	481·279	41·734	0·9012	1·1084
2·0	20668	120·6	121·417	480·005	41·861	0·8588	1·1631
2·2	22734	123·6	124·913	477·601	42·096	0·7851	1·2721
2·5	25835	127·8	128·753	474·310	42·416	0·6961	1·4345
2·7	27901	130·4	131·354	472·293	42·610	0·6475	1·5420
3·0	31002	133·9	134·989	469·477	42·876	0·5864	1·7024
3·2	33068	136·1	137·247	467·729	43·040	0·5518	1·8088
3·5	36169	139·2	140·438	465·261	43·269	0·5072	1·9676
3·7	38236	141·2	142·453	463·703	43·413	0·4814	2·0729
4·0	41336	144·0	145·310	461·496	43·614	0·4474	2·2303
4·2	43403	145·8	147·114	460·104	43·739	0·4273	2·3349
4·5	46503	148·3	149·708	458·103	43·918	0·4004	2·4911
4·7	48570	150·0	151·360	456·829	43·030	0·3844	2.5949
5·0	51670	152·2	153·741	454·994	44·192	0·3626	2·7500
5·2	53737	153·7	155·262	453·823	44·293	0·3495	2·8531
5·5	56837	155·8	157·471	452·123	44·441	0·3315	3·0073
5·7	58904	157·2	158·880	451·039	44·533	0·3205	3·1098
6·0	62004	159·2	160·938	449·457	44·667	0·3054	3·2632
6·2	64071	160·5	162·255	448·444	44·753	0·2962	3·3652
6·5	67171	162·4	164·188	446·965	44·876	0·2833	3·5178
6·7	69238	163·6	165·428	446·008	44·956	0·2753	3·6192
7·0	72338	165·3	167·243	444·616	45·070	0·2642	3·7711
7·5	77505	168·1	170·142	442·393	45·250	0·2475	4·0234
8·0	82672	170·8	172·888	440·289	45·420	0·2329	4·2745
8·5	87839	173·4	175·514	438·280	45·578	0·2200	4·5248
9·0	93006	175·8	178·017	436.366	45·727	0·2085	4·7741
9·5	98173	178·1	180·408	434·539	45·868	0·1981	5·0226
10·0	103340	180·3	182·719	432·775	46·001	0·1887	5·2704
10·5	108507	182·4	184·927	431·090	46·127	0·1802	5·5174
11·0	113674	184·5	187·065	429·460	46·247	0·1725	5·7636
11·5	118841	186·5	189·131	427·886	46·362	0·1654	6·0092
12·0	124008	188·4	191·126	426·368	46·471	0·1589	6·2543
12·5	129175	190·3	193·060	424·896	46·576	0·1529	6·4986
13·0	134342	192·1	194·944	423·465	46·676	0·1473	6·7424
13·5	134509	193·8	196·766	422·080	46·772	0·1421	6·9857
14·0	144766	195·5	198·537	420·736	46·864	0·1373	7·2283

Tafel LVIII. Tabelle der Verdampfungswärme des Wassers nach der Siedetemperatur geordnet. — Nach Zeuner.

° C.	Spannung in *mm* Quecksilbersäule	λ fühlbare und latente Wärme in Calorien	r latente Wärme in Calorien	° C.	Spannung in *mm* Quecksilbersäule	λ fühlbare und latente Wärme in Calorien	r latente Wärme in Calorien
0	4·600	606·500	606·500	120	1491·280	643·100	522·783
5	6·534	608·025	603·025	125	1743·880	644·125	518·774
10	9·165	609.550	599·548	130	2030·280	646·150	515·761
15	12·699	611·075	596·070	135	2353·730	647·675	512·247
20	17·591	612·600	592·590	140	2717·630	649·200	508·730
25	23·550	614·125	589·108	145	3125·550	650·725	505·210
30	31·548	615·650	585·624	150	3581·230	652·250	501·687
35	41·827	617·175	582 138	155	4088·560	653·775	498·162
40	54·906	618·700	578·649	160	4651·620	655·300	494·534
45	71·390	620·225	575·157	165	5274·540	656·825	491·104
50	91·980	621·750	571·663	170	5961·660	658·350	486·298
55	117·475	623·275	568·165	175	6717·430	659·875	482·655
60	148·786	624·800	564·663	180	7546·390	661·400	479·002
65	186·938	626·325	561·158	185	8453·230	662·925	475·341
70	233·082	627·850	557·649	190	9442·700	664·450	471·670
75	288·500	629·375	554·136	195	10519·630	665·975	467·990
80	354·616	630·900	550·618	200	11688·960	667·500	464·300
85	433·002	632·450	547·096	205	12955·660	669·025	460·600
90	525·392	633·950	543·569	210	14324·800	670·550	456·890
95	633·692	635·475	540·037	215	15801·330	672·075	453·451
100	760·000	637·000	536·500	220	17390·360	673·600	449·675
105	906·410	638·525	532·957	225	19097·040	675·125	445·695
110	1075·370	640.050	529·409	230	20926·400	676·650	441·942
115	1269·410	641·575	525·854				

Tafel

Tafel der Verdampfungswärme gesät-

(Jedoch sind die Werthe von u, $\frac{\rho}{u}$ und γ unter Zugrundelegung

net, während im Originale

Spannung in		Temperatur in °C.	Flüssigkeitswärme in Calorien	Innere Verdampfungswärme in Calorien
Atmosphären *kg* per *cm*²	*mm* Quecksilbersäule			
p	p_1	t	q	ρ
0·10	73·6	45·58	45·649	539·634
0·20	147·1	59·76	59·890	528·347
0·30	220·7	68·74	68·934	521·175
0·40	294·2	75·47	75·710	515·808
0·50	367·8	80·90	81·189	511·476
0·60	441·3	85·48	85·818	507·826
0·70	514·9	89·47	89·844	504·659
0·80	588·4	93·00	93·427	501·847
0·90	662.0	96·19	96·639	499·337
1·00	735·5	99·09	99·576	497·048
1·10	809·1	101·76	102·281	494·899
1·20	882·6	104·24	104·792	492·934
1·30	956·2	106·55	107·138	491·098
1·40	1029·7	108·72	109·339	489·378
1·50	1103·3	110·76	111·416	487·756
1·60	1176·8	112·70	113·382	486·221
1·70	1250·4	114·54	115·252	484·762
1·80	1327·9	116·29	117·032	483·375
1·90	1397·5	117·97	118·837	481·955
2·00	1471·0	119·57	120·369	480·776
2·10	1544·6	121·11	121·935	479·557
2·20	1618·1	122·59	123·443	478·385
2·30	1691·7	124·02	124·897	477·254
2·40	1765·2	125·39	126·301	476·163
2·50	1838·8	126·73	127·658	475·109
2·60	1912·3	128·02	128·972	474·090
2·70	1985·8	129·26	130·246	473·101
2·80	2059·4	130·48	131·488	472·141
2·90	2133·0	131·65	132·684	471·210
3·00	2206·5	132·80	133·853	470·304
3·10	2280·1	133·91	134·992	469·422
3·20	2353·6	135·00	136·102	468·563

LIX.

tigten Wasserdampfes nach Fliegner.

des mechanischen Wärmeäquivalentes $\frac{1}{A}$!= 428 *mkg* berech-

$\frac{1}{A}$ = 436 *mkg* gesetzt ist).

Aeußere Verdampfungswärme in Calorien	Differenz der specifischen Volumina von Dampf und Wasser pro *kg* in m^3	Werthe von	Gewicht des Dampfes in *kg* pro m^3
$A\ p\ u$	$u = s - \sigma$	$\frac{\rho}{u}$	$D = \frac{1}{s}$
35·119	15·0309	35·90	0·0665
36·488	17·8084	67·66	0·1281
37·357	5·3296	97·79	0·1876
37·999	4·0659	126·86	0·2459
38·509	3·2964	155·17	0·3033
38·929	2·7769	182·88	0·3600
39·285	2·4020	210·09	0·4161
39·592	2·1182	236·93	0·4719
39·861	1·8956	263·41	0·5273
40·098	1·7162	289·72	0·5823
40·356	1·5702	315·18	0·6365
40·566	1·4469	340·69	0·6907
40·761	1·3420	365·95	0 7446
40·942	1·2517	390·98	0·7983
41·111	1·1730	415·80	0·8518
41·270	1·1040	440·43	0·9015
41·420	1·0428	464·86	0·9580
41·561	0·9882	489·12	1·0109
41·688	0·9391	513·23	1·0637
41·824	0·8950	537·16	1·1161
41·946	0·8549	560·95	1·1684
42·062	0·8183	584·61	1·2206
42·174	0·7848	608·12	1·2726
42·281	0·7540	631·51	1·3245
42·384	0·7256	654·76	1·3763
42·483	0·6993	677·90	1·4280
42·579	0·6750	700·94	1·4793
42·671	0·6523	723·86	1·5307
42·760	0·6311	746·68	1·5820
42·846	0·6113	769·40	1·6232
42·929	0·5927	792·00	1·6843
43·010	0·5753	814·53	1·7352

Spannung in		Temperatur in °C.	Flüssigkeitswärme in Calorien	Innere Verdampfungswärme in Calorien
Atmosphären *kg* per cm^2	*mm* Quecksilbersäule			
p	p_1	t	q	ρ
3·30	2427·2	136·06	137·183	467·726
3·40	2500·7	137·09	138·239	466·908
3·50	2574·3	138·10	139·271	466·111
3·60	2647·8	139·08	140·279	465·331
3·70	2721·4	140·05	141·265	464·569
3·80	2794·9	140·99	142·230	463·824
3·90	2868·5	141·92	143·175	463·093
4·00	2942·0	142·82	144·102	462·377
4·10	3015·6	143·71	145·010	461·677
4·20	3089·1	144·58	145·901	460·959
4·30	3162·7	145·43	146·575	460·315
4·40	3236·2	146·27	147·633	459·653
4·50	3309·8	147·09	148·475	459·004
4·60	3383·3	147·90	149·303	458·365
4·70	3456·9	148·69	150·117	457·738
4·80	3530·4	149·47	150·918	457·121
4·90	3604·0	150·24	151·705	456·514
5·00	3677·6	150·99	152·480	455·917
5·10	3751·1	151·73	153·242	455·331
5·20	3824·7	152·47	153·993	454·753
5·30	3898·2	153·19	154·733	454·183
5·40	3971·8	153·90	155·462	453·623
5·50	4045·3	154·59	156·180	453·071
5·60	4118·9	155·28	156·888	452·526
5·70	4192·4	155·96	157·586	451·989
5·80	4266·0	156·63	158·274	451·460
5·90	4339·5	157·29	158·954	450·938
6·00	4413·1	157·94	159·625	450·423
6·10	4486·6	158·59	160·287	449·914
6·20	4560·2	159·22	160·940	449·413
6·30	4633·7	159·85	161·585	448·918
6·40	4707·3	160·47	162·222	448·428
6·50	4780·8	161·08	162·852	447·945
6·60	4854·4	161·68	163·474	447·468
6·70	4927·9	162·28	164·088	446·997
6·80	5001·5	162·87	164·696	446·530
6·90	5075·0	163·45	165·296	446·070
7·00	5148·6	164·03	165·890	445·615
7·25	5332·4	165·44	167·347	444·498
7·50	5516·3	166·82	168·764	443·413
7·75	5700·2	168·15	170·146	442·354

Aeußere Verdampfungswärme in Calorien	Differenz der specifischen Volumina von Dampf und Wasser pro *kg* in m^3	Werthe von	Gewicht des Dampfes in *kg* pro m^3
$A p u$	$u = s - \sigma$	$\frac{\rho}{u}$	$D = \frac{1}{s}$
43 088	0·5588	836·96	1·7864
43·165	0·5434	859·30	1·8369
43·238	0·5287	881·53	1·8879
43·311	0·5149	903·70	1·9384
43·381	0·5018	925·79	1 9389
43·449	0 4894	947·79	2·0392
43·516	0·4776	969·72	2·0894
43·581	0·4663	991·55	2·1400
43·644	0·4556	1013·3	2·1901
43·706	0·4454	1035·0	2·2401
43·766	0·4356	1056·7	2·2904
43·825	0·4263	1078·2	2·3403
43·883	0·4174	1099·8	2·3901
43·940	0·4088	1121·2	2·4402
43·995	0·4006	1142·6	2·4900
44·049	0·3928	1163·9	2·5394
44·103	0·3852	1185 0	2·5893
44·155	0·3780	1206·2	2·6412
44 206	0·3710	1227·3	2·6882
44·256	0·3643	1248·4	2·7375
44·305	0·3578	1269·4	2·7871
44·353	0·3515	1290·4	2·8369
44·400	0·3455	1311·3	2·8860
44·447	0·3397	1332 1	2·9351
44·493	0·3341	1352 9	2·9842
44·538	0·3287	1373·6	3·0331
44·582	0·3234	1394·4	3·0826
44·625	0·3183	1415·0	3·1319
44·668	0·3134	1435·5	3·1807
44·710	0·3086	1456·1	3·2300
44·751	0·3040	1476·5	3·2787
44·792	0·2995	1497·1	3·3278
44·832	0·2952	1517·4	3·3761
44·871	0·2910	1537 8	3·4247
44·910	0·2869	1558·1	3·4734
44·949	0·2829	1578·4	3·5224
44·987	0·2790	1598·5	3·5714
45·024	0·2753	1618·7	3·6193
45·115	0·2663	1668·9	3·7411
45·202	0·2580	1718 9	3·8610
45·287	0·2501	1768·6	3·9825

Spannung in		Temperatur in °C.	Flüssigkeitswärme in Calorien	Innere Verdampfungswärme in Calorien
Atmosphären *kg* per *cm*²	*mm* Quecksilbersäule			
p	p_1	t	q	ρ
8·00	5884·1	169·46	171·493	441·323
8·25	6068·0	170·73	172·808	440·316
8·50	6251·8	171·98	174·093	439·334
8·75	6435·7	173·19	175·349	438·373
9·00	6619·6	174·38	176·578	437·484
9·25	6803·5	175·54	177·780	436·515
9·50	6987·4	176·68	178·958	435·616
9·75	7171·2	177·79	180·111	434·735
10·00	7355·1	178·89	181·243	433·871
10·25	7539·0	179·96	182·353	433·024
10·50	7722·9	181·01	183·442	432·193
10·75	7906·7	182·04	184·513	431·376
11·00	8090·6	183·05	185·563	430·576
11·25	8274·5	184·05	186·597	429·788
11·50	8458·4	185·03	187·612	429·015
11·75	8642·2	185·99	188·611	428·255
12·00	8826·1	186·94	189·594	427·506
12·25	9010·0	187·87	190·561	426·770
12·50	9193·9	188·78	191·513	426·046
12·75	9377·8	189·68	192·452	425·331
13·00	9561·6	190·57	193·376	424·629
13·50	9929·4	192·31	195·184	423·254
14·00	10297·1	194·00	196·944	421·916
14·50	10664·9	195·64	198·656	420·615
15·00	11032·7	197·24	200·324	419·349

Aeußere Verdampfungswärme in Calorien	Differenz der specifischen Volumina von Dampf und Wasser pro *kg* in m^3	Werthe von	Gewicht des Dampfes in *kg* pro m^3
A p u	u = s — σ	$\frac{\rho}{u}$	$D = \frac{1}{s}$
45·396	0·2427	1818·3	4·1034
45·449	0·2358	1867·5	4·2230
45·526	0·2292	1916.6	4·3440
45·601	0·2231	1965·4	4·4623
45·674	0·2172	2013·9	4·5830
45·745	0·2117	2062·6	4·7015
45·813	0·2064	2110·5	4·8216
45·881	0·2014	2158·5	4·9407
45·946	0·1966	2206·4	5·0607
46·010	0·1921	2254·0	5·1787
46·072	0·1878	2301·3	5·2966
46·133	0·1837	2348·6	5·4142
46·192	0·1797	2395·7	5·5340
46·250	0·1760	2442·6	5·6497
46·306	0·1723	2489·4	5·7703
46·361	0·1689	2535·9	5·8858
46·415	0·1655	2582·4	6·0060
46·468	0·1624	2628·6	6·1200
46·520	0·1593	2674·8	6·2383
46·571	0·1563	2720·6	6·3573
46·620	0·1535	2766·5	6·4725
46·717	0·1481	2857·6	6·7069
46·810	0·1431	2948·3	6·9396
46·900	0·1384	3038·5	7·1736
46·986	0·1341	3128·0	7·4019



Tafel LX. Atomgewichte der Elemente

nach den Neuberechnungen von F. W. Clarke, sowie von L. Meyer und K. Seubert und von van der Plaats.

Elemente	Nach Clarke	Nach L. Meyer und K. Seubert	Nach van der Plaats	
			Atomgewicht	mögliche Fehler
Aluminium, Al	27·009	27·04	27·08	0·05
Antimon, Sb	119 955	119·6	120·0	0·2
Arsen, As	74·918	74·9	75·0	0·3
Baryum, Ba	136 763	136·86	137·1	0·1
Beryllium, Be	9·085	9·08	9·1	0·2
Blei, Pb	206·471	206·39	206·91	0·05
Bor, B	10·941	10·9	11·0	0·1
Brom, Br	79·768	79·76	79·955	0·01
Cadmium, Cd	111·835	111·70	112·1	0·2
Caesium, Cs	132·583	132·7	132·8	0·3
Calcium, Ca	39·990	39·91	40·0	0·005
Cer, Ce	140·424	141·2	141·5	1
Chlor, Cl	35·370	35·37	35·456	0·005
Chrom, Cr	52·009	52·45	52·3	0·3
Didym, Di	144·573	145·0	145	3
Eisen, Fe	55·913	55·88	56·0	0·05
Erbium, Eb	165·891	166·0	—	—
Fluor, F	18·984	19·06	19·0	0·1
" F	37·968	38·12	38·0	0·2
Gallium, Ga	68·854	69·9	70	1
Gold, Au	196·155	196·2	196·7	0·5
Indium, In	113·398	113·4	113·7	0·5
Iridium Ir	192·651	192·5	193·0	0·2
Jod, J·	126·557	126·54	126·86	0·01
Kalium, K	39.019	39·03	39·144	0·01
Kobalt, Co	58·887	58·6	58·8 oder 60	0·5
Kohlenstoff, C	11·9736	11·97	12·005	0·005
Kupfer, Cu	63·173	63·18	63·33	0·02
Lanthan, La	138·526	138·5	133	2
Lithium, Li	7·0073	7.01	7·02	0·01
Magnesium, Mg	23·959	23·94	24·4	0·05
Mangan, Mn	53·906	54·8	55·0	0·1
Molybdän, Mo	95·527	95·9	96·0	0·3
Natrium, Na	22·998	22·995	23·05	0·005

Elemente	Nach Clarke	Nach L. Meyer und K. Seubert	Nach van der Plaats	
			Atomgewicht	mögliche Fehler
Nickel, Ni	57·928	58·6	58 oder 58·8	0·5
Niobium, Nb	93·812	93·7	94	2
Osmium, Os	198·494	195	195	5
Palladium, Pd	105·737	106·2	106·5	1
Phosphor, P	30·958	30·96	30·95	0·05
Platin, Pt	194·415	194·3	194·9	0·2
Quecksilber, Hg	199·712	199·8	200·1	0·2
Rhodium, Rh	104·055	104·1	104	1
Rubidium, Rb	85·251	85·2	85·4	0·1
Ruthenium, Ru	104·217	103·5	104	1
Samarium, Sm	—	—	150	0·5
Sauerstoff, O	15·9633	15·96	16	Basis
Scandium, Sc	43·980	43·97	44	0·5
Schwefel, S	31·984	31·98	32·06	0·01
Selen, Se	78·797	78·87	79	0·2
Silber, Ag	107·675	107·66	107·93	0·01
Silicium, Si	28·195	28·00	28·0	0·1
Stickstoff, N	14·021	14·01	14·05	0·01
Strontium, Sr	87·374	87·3	87·5	0.1
Tantal, Ta	182·144	182·0	182·8	0·5
Tellur, Te	127·960 —	127·7 126·3	125	3
Thallium, Tl	203·715	203·7	204·2	0·5
Thorium, Th	233·414	231·96	233	1
Titan, Ti	49·846	50·25	48·1	0·1
Uran, U	238·482	239·8	240	1
Vanadin, V	51·256	51·1	51·3	0·1
Wasserstoff, H	1·000	1·00	1·00	0·005
Wismuth, Bi	207·523	207·5	208·0	0·3
Wolfram, W	183·610	183·6	184·0	0·2
Ytterbium Yb	172·761	172·6	173	1
Yttrium, Y	89·816	89·6	89·5	1
Zink, Zn	64·9045	64·88	65·3	0·1
Zinn, Sn	117·698	117·35	118·1	0·1
Zirkonium, Zr	89·367	90·4	90·5	1

Tafel LXI. Seither neu bestimmte Atomgewichte.

Elemente	Atomgewichte	Beobachter	Elemente	Atomgewichte	Beobachter
Aluminium, Al	27·016	Baubigny.	Nickel, Ni	58·678	Baubigny.
Antimon, Sb	120·470	Bongartz.	Osmium, Os	ca. 191	K. Seubert.
" "	120·693	Popper.	Phosphor, P	30·975	van der Plaats.
Cerium, Ce	139·9035	Henry Robinson.	Platin, Pt	194·57592	W. Halberstadt.
" "	139·8707	B. Brauner.	Sauerstoff, O	15·872	E. H. Keiser.
Fluor, Fl	18·94	O. T. Christensen.	Silber, Ag	107·930	Stas.
" (Fl)	(37·88)		Silicium, Si	28·332	T. E. Thorpe und J. W. Young.
Germanium, Ge	72·32	Cl. Winkler.	Stickstoff, N	14·055	Stas.
" "	72·29	Lecoq de Boisbaudran.	Tellur, Te	125·000	B. Brauner
Gold, Au	196·64	G. Krüß.	Thorium, Th	231·984	G. Krüß u. L. F. Nilson.
" "	196·852	T. E. Thorpe und A. P. Laurie.	Titan, Ti	48·013	T. E. Thorpe.
Kalium, K	39·1425	Stas.	Uran, U	239·96	Cl. Zimmermann.
Kobalt, Co	58·74	Cl. Zimmermann.	Wismuth, Bi	208·160	Marignac.
Kohlenstoff, C	12·0028	van der Plaats.	Wolfram, W	184·04	J. Waddel.
Kupfer, Cu	63·396	Baubigny.	Yttrium, Y	89·020	Cleve.
" "	63·33	W. N. Shaw.	Zink, Zn	65·330	Marignac.
" "	63·450	Th. W. Richards.	" "	65·334	Baubigny.
Lanthan, La	138·810	Marignac.	" "	65·000	van der Plaats.
" "	138·22	Cleve.	" "	65·1066	H. N. Morse und W. M. Burton.
Magnesium, Mg	24·370	Marignac.	" "	65·4787	H. E. Reynolds und W. Ramsay.
Mangan, Mn	55·038	Dewar und Scott.	" "	65·3	J. H. Gladstone und W. Hilbert.
" "	55·0	Marignac.	Zinn, Sn	118·076	van der Plaats.
Natrium, Na	23·0455	Stas.			
Nickel, Ni	58·557	Cl. Zimmermann.			

Tafel LXII. Bildungswärmen der wichtigsten Stoffe bezogen auf die Gewichtseinheit eines Componenten derselben.

Bildungswärmen der folgenden Reactionen	bezogen auf 1 *kg*	Calorien	Bildungswärmen der folgenden Reactionen	bezogen auf 1 *kg*	Calorien
(C, O_2)	C	8080	(Fe_3, O_4)	Fe	1677
(C, O)	C	2473	(Fe_2, O_3)	Fe	1887
(C, H_4)	C	1833	(H_2, O)	H	34180
(C, H_4)	H	11000	(H_3, N)	H	4167 gasförmig
(C, N)	C	3104 gasförmig	(K_2, O)	K_2O	1489
(C, N)	N	2660 „	(K, C, N)	CN	1304
(CO, O)	CO	24027	(K, C, N)	K	870
$(CH_4 + O_4)$	CH_4	13063	(Mn_3, O_4)	Mn	2266 angenommen
$(C_2H_4 + O_6)$	C_2H_4	11858	(Mn_2, O_3)	Mn	2595 „
(CaO, CO_2)	CaO	759	(P_2, O_5)	P	5953
(CaO, CO_2)	CO_2	965	(S, O_2)	S	2220
(Cu, O)	Cu	608	(S, O_3)	S	3226
(Fe, O)	Fe	1258	(Si, O_2)	Si	7830



Tafel LXIII. — Bildungswärmen einiger

wobei die Bestandtheile und die Verbindungen in jenem Aggregatzustande
abgekürzten Namen der Beobachter ist am

Name	Bestandtheile	Verbindung
Wasserstoffverbindungen.		
Chlorwasserstoffsäure	$H + Cl$	HCl
" bei 2000° C.	$H + Cl$	HCl
Bromwasserstoffsäure	$H + Br$	HBr
Jodwasserstoffsäure	$H + J$	HJ
Wasser	$H_2 + O$	H_2O
" bei 2000° C.	$H_2 + O$	H_2O
" " 4000° C.	$H_2 + O$	H_2O
Wasserstoffhyperoxyd	$H_2 + O_2$	H_2O_2
"	$H_2O + O$	H_2O_2
Schwefelwasserstoff	$H_2 + S$	H_2S
Ammoniak	$H_3 + N$	H_3N
Hydroxylamin	$H_3 + N + O$	NH_3O
Phosphorwasserstoff, gasförmig	$H_3 + P$	PH_3
" fest	$P_2 + P_4$	P_4H_2
Acetylen (C = Diamant)	$C_2 + H_2$	C_2H_2
Aethylen (C = ")	$C_2 + H_4$	C_2H_4
Methyl (C = ")	$C + H_3$	CH_3
Methan (C = ")	$C + H_4$	CH_4
Siliciumwasserstoff (Si amorph.)	$Si + H_4$	SiH_4
Sauerstoffverbindungen.		
Stickoxydul	$N_2 + O$	N_2O
Stickoxyd	$N + O$	NO
Untersalpetrigsäureanhydrid	$N_2 + O_2$	N_2O_2
Salpetrigsäureanhydrid	$N_2 + O_3$	N_2O_3
Untersalpetersäure	$N_2 + O_4$	N_2O_4
Salpetersäureanhydrid	$N_2 + O_5$	N_2O_5
Salpetersäure	$N_2 + O_5 + H_2O$	$2NO_3H$
"	$N + O_3 + H$	NO_3H
Salpetersäurehydrat	$HNO_3 + 2H_2O$	$HNO_3, 2H_2O$

emischer Verbindungen (Metalloïde),

ıgegeben sind, welchen sie bei + 15° C. besitzen. — (Die Erklärung der chlusse der nächsten Tabelle gegeben.)

Molekulargewicht	Entwickelte Wärme. Die gebildete Verbindung ist				Beobachter
	gasförmig	flüssig	fest	in Lösung	
36·5	+ 22·0	—	—	+ 39·3	T. B.
36·5	+ 26·0	—	—	—	B. u. Vie.
81	+ 9·5	—	—	+ 29·5	T. [B.]
128	— 6·2	—	—	+ 13·2	T. B.
2×9	+ 58·2	+ 69·0	+ 70·4	—	D.Hs.F.u.S.G.A.T.P.
2×9	+ 50·6	—	—	—	B. u. Vie.
2×9	+ 37·0	—	—	—	B. u. Vie.
2×17	—	—	—	+ 47·4	F. u. S. T. [B.]
2×17	—	—	—	— 21·6	dto.
2×17	+ 4·6	—	—	+ 9·2	H. T.
17	+ 12·2	—	—	+ 21·0	[B.] T.
33	—	—	—	+ 19·0	B.
34	+ 11·6	—	—	—	Og.
2×63	—	—	+ 35·4	—	Og.
2×13	— 61·0	—	—	—	[B.] T.
2×14	— 15·4	—	—	—	D.F.u.S.A.T.[B.]
15	+ 2·85	—	—	—	B.
16	+ 18·5	—	—	—	D.F.u.S.A.[B.]T.
32	+ 32·9	—	—	—	Og.
44	— 20·6	— 16·2	—	—	F. u. S. T. [B.]
30	— 21·6	—	—	—	B. T.
60	—	—	—	— 38·6	B.
76	— 22·2	—	—	— 8·4	B.
92	— 5·2	+ 3·4	—	—	B.
108	— 1·2	+ 3·6	+ 11·8	+ 28·6	B.
2×63	— 0·2	+ 14·2	+ 15·4	+ 28·6	B.
63	+ 34·4	+ 41·6	+ 42·2	+ 48·8	B.
99	—	+ 5·0	—		B.

N a m e	Bestandtheile	Verbindung
Schweflige Säure	$S + O_2$	SO_2
Schwefelsäureanhydrid	$S + O_3$	SO_3
Schwefelsäure	$SO_2 + O + H_2O$	H_2SO_4
"	$S + O_3 + H_2O$	H_2SO_4
"	$S + O_4 + H_2$	H_2SO_4
Schwefelsäurehydrat	$H_2SO_4 + H_2O$	H_2SO_4, H_2O
Phosphorsäureanhydrid	$P_2 + O_5$	P_2O_5
" krystall.	P_2O_5 amorph.	—
Kohlensäure	$CO + O$	CO_2
" bei 3000° C.	$CO + O$	CO_2
" " 4500° C.	$CO + O$	CO_2
Phosphorsäure	$P_2 + O_5 + 3H_2O$	$2(H_3PO_4)$
Arsenige Säureanhydrid	$As_2 + O_3$	As_2O_3
Arsensäurehydrat	$As_2 + O_5$	As_2O_5
Kohlensäure (C — Diamant)	$C + O_2$	CO_2
" (C amorph.)	$C + O_2$	CO_2
Kohlenoxyd (C — Diamant)	$C + O$	CO
" (C amorph.)	$C + O$	CO
Kieselsäureanhydrid (Si amorph.)	$Si + O_2$	SiO_2
" (Si krystall.)	$Si + O_2$	SiO_2

Molekulargewicht	Entwickelte Wärme. Die gebildete Verbindung ist				Beobachter
	gasförmig	flüssig	fest	in Lösung	
64	+ 69·2	—	—	+ 76·8	F. u. S., T., [B.]
80	+ 91·8	—	+ 103·6	+ 141·0	
98	—	+ 54·4	—	+ 72·0	D. Hs. F. u. S. A. T. [B.]
98	—	+ 124·0	+ 124·8	+ 141·0	
98	—	+ 193·0	+ 193·8	+ 210·0	
116	—	+ 6·2	+ 9·0*)	—	B.
142	—	—	+ 363·8	+ 405·4	T.
142	—	—	+ 6·6	—	H. u. Perrey.
44	+ 68·2	—	—	—	B.
44	+ 37·0	—	—	—	B. u. Vie.
44	+ 28·0	—	—	—	B. u. Vie.
196	—	+ 395·0	+ 400·0	+ 405·4	T.
198	—	—	+ 154·6	+ 147·0	T.
230	—	—	— 219·4	+ 225·4	T.
44	+ 94·0	—	+ 100·0	+ 99·6	F. u. S.
44	+ 97·96	—	+ 103·0	+ 102·6	F. u. S.
28	+ 25·8	—	—	—	F. u. S. G. A. T. [B.]
28	+ 28·8	—	—	—	
60	—	—	+ 219·2	+ 207·4	Tr. u. H. B.
60	—	—	+ 211·1	—	Tr. u. H. B.

*) Wasser als Eis.

Tafel LXIV. Bildungswärme einiger Metallverbindungen.

Verbindung	Bestandtheile	Molekulargewicht	Entwickelte Wärme. Die gebildete Verbindung ist		Beobachter
			fest	gelöst	
Oxyde					
K_2O	K_2+O	94·2	+ 97·2	+164·6	Beketoff
KHO	$K+H+O$	56·1	104·3	116·8	T.
Na_2O	Na_2+O	62	100·2	155·2	Beketoff
$NaHO$	$Na+H+O$	40	102·3	112·1	T.
Li_2O	Li_2+O	30	140·0	166·6	Beketoff
$LiHO$	$Li+H+O$	24	111·2	117·8	T.
NH_4OH	$N+H_3+H_2O$	35	—	21·0	B.
NH_4OH	$N+H_5+O$	35	—	90·0	B.
CaO	$Ca+O$	56	132·0	150·1	T.
CaO_2H_2	$Ca+H_2+O_2$	74	216·0	219·1	T.
SrO	$Sr+O$	103·6	131·4	158·2	T.
SrO_2H_2	$Sr+H_2+O_2$	121·6	217·6	227·2	T.
BaO	$Ba+O$	153	x	x+28·0	T.
BaO_2	$BaO+O$	169	12·1	—	B.
MgO_2H_2	$Mg+O+H_2O$	54	149·8	—	T.
MgO_2H_2	$Mg+H_2+O_2$	54	218·8	—	T.
$Al_2O_6H_6$	$Al_2+3H_2O+O_3$	156·8	391·6	—	T.
MnO	$Mn+O$	71	94·8	—	T.
MnO_2	$Mn+O_2$	97	116·2	—	T.
$H_2Mn_2O_8$	$Mn_2+O_7+H_2O$	240	—	+ 17·8	T.
$FeO.H_2O$	$Fe+O$	72	69·0	—	T.
$Fe_2O_3.3H_2O$	Fe_2+O_3	160	191·2	—	T.
Fe_3O_4	Fe_3+O_4	232	279·0	—	B.
Fe_3O_4	$FeO+Fe_2O_3$	232	9·0	—	B.
NiO,H_2O	$Ni+O$	75	61·4	—	T.
$Ni_2O_3,3H_2O$	Ni_2+O_3	166	121·2	—	T.
CoO,H_2O	$Co+O$	75	64·0	—	T.
$Co_2O_3,3H_2O$	Co_2+O_3	166	150·6	—	T.
ZnO	$Zn+O$	81	86·4	—	T.
ZnO_2H_2	$Zn+O+H_2O$	99	83·6	—	T.
CdO	$Cd+O$	128	66·4	—	T.
PbO	$Pb+O$	223	51·0	—	T.
PbO_2H_2	$Pb+O+H_2O$	241	53·4	—	T.
PbO_2	$Pb+O_2$	239	63·2	—	Tsch.
Cu_2O	Cu_2+O	142·8	42·0	—	T.
CuO	$Cu+O$	79·4	38·4	—	T.

Verbindung	Bestandtheile	Molecular-gewicht	Entwickelte Wärme. Die gebildete Verbindung ist fest	gelöst	Beobachter
CuO, HO	$CuO + H_2O$	97·4	+ 38·0	—	T.
SnO, H_2O	$Sn + O$	134	69·8	—	T.
$SnO_2 2H_2O$	$Sn + O_2$	150	135·8	—	T.
Hg_2O	$Hg_2 + O$	416	42·2	—	T.
HgO gelb	$Hg + O$	216	31·0	—	T.
Ag_2O	$Ag_2 + O$	232	7·0	—	T.
Ag_4O_3	$Ag_4 + O_3$	480	21·0	—	B.
Bi_2O_3	$Bi_2 + O_3$	468	137·8	—	T.
Sb_2O_3	$Sb_2 + O_3$	288	168·0	—	T.
Chloride:					
KCl	$K + Cl$	74·6	105·0	+100·8	T.
$NaCl$	$Na + Cl$	58·5	97·3	96·2	T.
NH_4Cl	$N + H_4 + Cl$	53·5	76·7	72·7	T.
$LiCl$	$Li + Cl$	42·5	93·5	101·9	T.
$CuCl_2$	$Cu + Cl_2$	111	170·2	187·6	T.
$MgCl_2$	$Mg + Cl_2$	95	151·0	187·0	T.
Al_2Cl_6	$Al_2 + Cl_6$	265·8	321·8	475·6	T.
$MnCl_2$	$Mn + Cl_2$	126	112·0	128·0	T.
$FeCl_2$	$Fe + Cl_2$	127	82·0	100·0	T.
Fe_2Cl_6	$Fe_2 + Cl_6$	323	192·0	225·4	T.
Cu_2Cl_2	$Cu_2 + Cl_2$	197·8	71·2	—	B.
$CuCl_2$	$Cu + Cl_2$	134·4	51·6	+ 62·6	B.
Hg_2Cl_2	$Hg_2 + Cl_2$	471	81·8	—	T.
$HgCl_2$	$Hg + Cl_2$	271	62·8	+ 59·6	T.
$AgCl$	$Ag + Cl$	143·5	29·2	—	T.
Sulfide:					
K_2S	$K_2 + S$	110·2	102·2	+112·4	T. Sab.
KHS	$^1/_2 (K_2S + H_2S[Gas])$	72·1	9·5	3·9	Sab.
K_2S_4	$KS_2 + S_3$	206·2	12·4	5·2	Sab.
Na_2S	$Na_2 + S$	78·0	88·4	103·2	T. Sab.
Na_2S_4	$NaS + S_3$	174	10·2	5·0	Sab.
CaS	$Ca + S$	72	92·0	98·0	Sab.
MnS	$Mn + S$	87	45·2	—	B.
FeS	$Fe + S$	88	23·8	—	B.
ZnS	$Zn + S$	97	43·0	—	B.
PbS	$Pb + S$	239	17·8	—	B.
Cu_2S	$Cu_2 + S$	158	20·2	—	T.
CuS	$Cu + S$	95	10·2	—	T.
HgS	$Hg + S$	232	19·8	—	B.
AgS	$Ag + S$	248	3·0	—	B.

Die Namen der Beobachter sind in den vorstehenden beiden Tabellen wie folgt abgekürzt:

Al = Alluard; A = Andrews; An = André; B = Berthelot; Cald = Calderon; Ch = Chroutschoff; D = Dulong; Ds = Desains; Dia = Diakonsoff; Dt = Ditte; De = Deville; F = Favre; Fo = de Forcrand; G = Grassi; Gh = Graham; H = Hautefeuille; Ha = Hammerl; Hs = Heß; Jo = Joannis; Joly, L = Longuinine; M = Mitscherlich; Og = Ogier; P = Person; Pett = Petterssen; Pf = Pfaundler; R = Régnault; Rech = Rechenberg; Sa = Sarrau; S = Silbermann; Sab = Sabatier; = St = Stohmann; T = Thomsen; Ts = Tschelzow; Tr = Troost; Vie = Vieille; Vi = Violle; Wr = Werner; W = Woods.

Die bevorzugten Autoren sind in Klammern gesetzt.

Die in den Tabellen angeführten Zahlen sind durchaus aus den experimentell gefundenen Werthen abgeleitet.

Die Äquivalentgewichte sind in Grammen ausgedrückt.

Die Bildungswärmen sind in gewöhnlichen Calorien angegeben.

Wird somit das Gewicht der betreffenden Substanzen in Kilogrammen gerechnet, so müssen die Calorien mit 1000 multiplicirt werden.

Tafel LXV. Bildungswärmen einiger Körper.

bezogen auf 1 Cubikmeter des gebildeten Körpers im gasförmigen Zustande, gemessen bei 0° C. und 760 *mm* Barometerstand, wenn sich die Bildung bei constantem Drucke vollzieht.

Wärmetönungen bei nachfolgenden Reactionen:	bezogen auf 1 m^3	Calorien	Wärmetönungen bei nachfolgenden Reactionen:	bezogen auf 1 m^3	Calorien
(C, O_2)	C	8661·3	$(CH_4 + O_4)$	CH_4 od. CO_2	9346·6
"	O_2 oder CO_2	4330·6	"	$2 O_2$ od. $2 H_2O$	4673·3
(C, O)	C oder O	2650·9	$(C_2H_4 + O_6)$	C_2H_4	14826·2
"	CO	1325·5	"	$3 O_2$	4942·1
(C, H_4)	C	1964·9	"	$2 CO_2$ od. $2 H_2O$	7413·1
"	$2 H_2$	491·2	(CaO, CO_2)	CO_2	1897·8
"	CH_4	982·5	(H_2, O)	H_2	3062·5
(C, N)	C	3327·3	"	O	6125
"	N	3327·3	(H_3, N)	N	493·8
(CO, O)	CO oder CO_2	3007	"	NH_3	246·9
"	O	6014	"	H_3	373·4

Tafel LXVI. Specifische Bildungswärmen einiger Körper

(bezogen auf 1 *kg* der gebildeten Verbindung).

Bildungswärmen der folgenden Reactionen	bezogen auf 1 *kg*	Calorien	Bildungswärmen der folgenden Reactionen	bezogen auf 1 *kg*	Calorien
[C, O_2]	CO_2	2203·6	[H_3, N]	H_3N	735·4 gasförmig
[C, O]	CO	1059·8	[K_2, O]	K_2O	1235·6
[C, H_4]	CH_4	1374·7	[K, C, N]	KCy	522
[C, N]	CN	1432·6 gasförmig	[Mn_3, O_4]	Mn_3O_4	1624·3
[CO, O]	CO_2	1529	[Mn_2, O_3]	Mn_2O_3	1796·5
[CaO, CO_2]	$CaCO_3$	424·6	[P_2, O_5]	P_2O_5	1299·6
[Cu, O]	CuO	484·8	[S, O_2]	SO_2	1110
[Fe, O]	FeO	978·4	[S, O_3]	SO_3	1290·4
[Fe_3, O_4]	Fe_3O_4	1214·3	[Si, O_2]	SiO_2	3654
[Fe_2, O_3]	Fe_2O_3	1320·9			
[H_2, O]	H_2O	3797·8			

Tafel LXVII. Umwandlung von Celsiusgraden in solche von Réaumur und Fahrenheit.

Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit
+ 100	+ 80	+ 212	+ 81	+ 64·8	+ 177·8
99	79·2	210·2	80	64	176
98	78·4	208·4	79	63·2	174·2
97	77·6	206·6	78	62·4	172·4
96	76·8	204·8	77	61·6	170·6
95	76	203	76	60·8	168·8
94	75·2	201·2	75	60	167
93	74·4	199·4	74	59·2	165·2
92	73·6	197·6	73	58·4	163·4
91	72·8	195·8	72	57·6	161·6
90	72	194	71	56·8	159·8
89	71·2	192·2	70	56	158
88	70·4	190·4	69	55·2	156·2
87	69·6	188·6	68	54·4	154·4
86	68·8	186·8	67	53·6	152·6
85	68	185	66	52·8	150·8
84	67·2	183·2	65	52	149
83	66·4	181·4	64	51·2	147·2
82	65·6	179·6	63	50·4	145·4

Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit
+ 62	+ 49·6	+ 143·6	+ 19	+ 15·2	+ 66·2
61	48·8	141·8	18	14·4	64·4
60	48	140	17	13·6	62·6
59	47·2	138·2	16	12·8	60·8
58	46·4	136·4	15	12	59
57	45·6	134·6	14	11·2	57·2
56	44·8	132·8	13	10·4	55·4
55	44	131	12	9·6	53·6
54	43·2	129·2	11	8·8	51·8
53	42·4	127·4	10	8	50
52	41·6	125·6	9	7·2	48·2
51	40·8	123·8	8	6·4	46·4
50	40	122	7	5·6	44·6
49	39·2	120·2	6	4·8	42·8
48	38·4	118·4	5	4	41
47	37·6	116·6	4	3·2	39·2
46	36·8	114·8	3	2·4	37·4
45	36	113	2	1·6	35·6
44	35·2	111·2	1	0·8	33·8
43	34·4	109·4	0	0	32
42	33·6	107·6	— 1	— 0·8	30·2
41	32·8	105·8	2	1·6	28·4
40	32	104	3	2·4	26·6
39	31·2	102·2	4	3·2	24·8
38	30·4	100·4	5	4	23
37	29·6	98·6	6	4·8	21·2
36	28·8	96·8	7	5·6	19·4
35	28	95	8	6·4	17·6
34	27·2	93·2	9	7·2	15·8
33	26·4	91·4	10	8	14
32	25·6	89·6	11	8·8	12·2
31	24·8	87·8	12	9·6	10·4
30	24	86	13	10·4	8·6
29	23·2	84·2	14	11·2	6·8
28	22·4	82·4	15	12	5
27	21·6	80·6	16	12·8	3·2
26	20·8	78·8	17	13·6	1·4
25	20	77	18	14·4	— 0·4
24	19·2	75·2	19	15·2	2·2
23	18·4	73·4	20	16	4
22	17·6	71·6	21	16·8	5·8
21	16·8	69·8	22	17·6	7·6
20	16	68	23	18·4	9·4

Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit
— 24	— 19·2	— 11·2	— 33	— 26·4	— 27·4
25	20	13	34	27·2	29·2
26	20·8	14·8	35	28	31
27	21·6	16·6	36	28·8	32·8
28	22·4	18·4	37	29·6	34·6
29	23·2	20·2	38	30·4	36·4
30	24	22	39	31·2	38·2
31	24·8	23·8	40	32	40
32	25·6	25·6			

Tafel LXVIII. Umwandlung von Graden Réaumur in solche von Fahrenheit und Celsius.

Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius
+ 80	+ 212	+ 100	59	+ 164·75	+ 73·75
79	209·75	98·75	58	162·50	72·50
78	207·50	97·50	57	160·25	71·25
77	205·25	96·25	56	158	70
76	203	95	55	155·75	68·75
75	200·75	93·75	54	153·50	67·50
74	198·50	92·50	53	151·25	66·25
73	196·25	91·25	52	149	66
72	194	90	51	146·75	63·75
71	191·75	88·75	50	144·50	62·50
70	189·50	87·50	49	142·25	61·25
69	187·25	86·25	48	140	60
68	185	85	47	137·75	58·75
67	182·75	83·75	46	135·50	57·50
66	180·50	82·50	45	133·25	56·25
65	178·25	81·25	44	131	55
64	176	80	43	128·75	53·75
63	173·75	78·75	42	126·50	52·50
62	171·50	77·50	41	124·25	51·25
61	169·25	76·25	40	122	50
60	167	75	39	119·75	48·75

Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius
+ 38	+ 117·50	+ 47·50	+ 2	+ 36·50	+ 2·50
37	115·25	46·25	1	34·25	1·25
36	113	45	0	32	0
35	110·75	43·75	— 1	29·75	— 1·25
34	108·50	42·50	2	27·50	2·50
33	106·25	41·25	3	25·25	3·75
32	104	40	4	23	5
31	101·75	38·75	5	20·75	6·25
30	99·50	37·50	6	18·50	7·50
29	97·25	36·25	7	16·25	8·75
28	95	35	8	14	10
27	92·75	33·75	9	11·75	11·25
26	90·50	32·50	10	9·50	12·50
25	88·25	31·25	11	7·25	13·75
24	86	30	12	5	15
23	83·75	28·75	13	2·75	16·25
22	81·50	27·50	14	0·50	17·50
21	79·25	26·25	15	— 1·75	18·75
20	77	25	16	4	20
19	74·75	23·75	17	6·25	21·25
18	72·50	22·50	18	8·50	22·50
17	70·25	21·25	19	10·75	23·75
16	68	20	20	13	25
15	65·75	18·75	21	15·25	26·25
14	63·50	17·50	22	17·50	27·50
13	61·25	16·25	23	19·75	28·75
12	59	15	24	22	30
11	56·75	13·75	25	24·25	31.25
10	54·50	12·50	26	26·50	32.50
9	52·25	11·25	27	28·75	33.75
8	50	10	28	31	35
7	47·75	8·75	29	33·25	36.25
6	45·50	7·50	30	35·50	37.50
5	43·25	6·25	31	37·75	38.75
4	41	5	32	40	40
3	38·75	3·75			

Tafel LXIX. Umwandlung von Graden Fahrenheit in solche von Celsius und Réaumur.

Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur
+ 212	+ 100	+ 80	+ 171	+ 77·22	+ 61·78
211	99·44	79·56	170	76·67	61·33
210	98·89	79·11	169	76·11	60·89
209	98·33	78·67	168	75·55	60·44
208	97·78	78·22	167	75	60
207	97·22	77·78	166	74·44	59·56
206	96·67	77·33	165	73·89	59·11
205	96·11	76·89	164	73·33	58·67
204	95·55	76·44	163	72·78	58·22
203	95	76	162	72·22	57·78
202	94·44	75·56	161	71·67	57·33
201	93·89	75·11	160	71·11	56·89
200	93·33	74·67	159	70·55	56·44
199	92·78	74·22	158	70	56
198	92·22	73·78	157	69·44	55·56
197	91·67	73·33	156	68·89	55·11
196	91·11	72·89	155	68·33	54·67
195	90·55	72·44	154	67·78	54·22
194	90	72	153	67·22	53·78
193	89·44	71·56	152	66·67	53·33
192	88·89	71·11	151	66·11	52·89
191	88·33	70·67	150	65·55	52·44
190	87·78	70·22	149	65	52
189	87·22	69·78	148	64·44	51·56
188	86·67	69·33	147	63·89	51·11
187	86·11	68·89	146	63·33	50·67
186	85·55	68·44	145	62·78	50·22
185	85	68	144	62·22	49·78
184	84·44	67·56	143	61·67	49·33
183	83·89	67·11	142	61·11	48·89
182	83·33	66·67	141	60·55	48·44
181	82·78	66·22	140	60	48
180	82·22	65·78	139	59·44	47·56
179	81·67	65·33	138	58·89	47·11
178	81·11	64·89	137	58·33	46·67
177	80·55	64·44	136	57·78	46·22
176	80	64	135	57·22	45·78
175	79·44	63·56	134	56·67	45·33
174	78·89	63·11	133	56·11	44·89
173	78·33	62·67	132	55·55	44·44
172	77·78	62·22	131	55	44

Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur
+ 130	+ 54·44	+ 43·56	+ 87	+ 30·55	+ 24·44
129	53·89	43·11	86	30	24
128	53·33	42.67	85	29·44	23·56
127	52·78	42·22	84	28·89	23·11
126	52·22	41·78	83	28·33	22·67
125	51·67	41·33	82	27·78	22·22
124	51·11	40·89	81	27·22	21·78
123	50·55	40·44	80	26·67	21·33
122	50	40	79	26·11	20·89
121	49·44	39·56	78	25·55	20·44
120	48·89	39·11	77	25	20
119	48·33	38·67	76	24·44	19·56
118	47·78	38·22	75	23·89	19·11
117	47·22	37·78	74	23·33	18·67
116	46·67	37·33	73	22·78	18·22
115	46·11	36·89	72	22·22	17·78
114	45·55	36·44	71	21·67	17·33
113	45	36	70	21·11	16·89
112	44·44	35·56	69	20·55	16·44
111	43·89	35·11	68	20	16
110	43·33	34·67	67	19·44	15·56
109	42·78	34·22	66	18·89	15·11
108	42·22	33·78	65	18·33	14·67
107	41·67	33·33	64	17·78	14·22
106	41·11	32·89	63	17·22	13·78
105	40·55	32·44	62	16·67	13·33
104	40	32	61	16·11	12·89
103	39·14	31·56	60	15·55	12·44
102	38·89	31·11	59	15	12
101	38·33	30·67	58	14·44	11·56
100	37·78	30·22	57	13·89	11·11
99	37·22	29·78	56	13·33	10·67
98	36 67	29·33	55	12·78	10·22
97	36·11	28·84	54	12·22	9·78
96	35·55	28·44	53	11·67	9·33
95	35	28	52	11·11	8·89
94	34·44	27·56	51	10·55	8·44
93	33·89	27·11	50	10	8
92	33·33	26·67	49	9·44	7·56
91	32·78	26·22	48	8·89	7·11
90	32·22	25·78	47	8·33	6·67
89	31·67	25·33	46	7·78	6·22
88	31·11	24·89	45	7·22	5·78

Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur
+ 44	+ 6·67	+ 5·33	+ 1	—17·22	—13·78
43	6·11	4·89	0	17·78	14·22
42	5·55	4·44	— 1	18·33	14·67
41	5	4	2	18·89	15·11
40	4·44	3·56	3	19·44	15·56
39	3·89	3·11	4	20	16
38	3·33	2·67	5	20·55	16·44
37	2·78	2·22	6	21·11	16·89
36	2·22	1·78	7	21·67	17·33
35	1·67	1·33	8	22·22	17·78
34	1·11	0·89	9	22·78	18 22
33	0·55	0·44	10	23 33	18·67
32	0	0	11	23·89	19·11
31	— 0·55	— 0·44	12	24·44	19·56
30	1·11	0·89	13	25	20
29	1·67	1·33	14	25·55	20·44
28	2·22	1·78	15	26·11	20·89
27	2·78	2·22	16	26·67	21·33
26	3·33	2·67	17	27·22	21·78
25	3·89	3·11	18	27·78	22·22
24	4·44	3·56	19	28·33	22·67
23	5·—	4·—	20	28·89	23·11
22	5·55	4·44	21	29·44	23·56
21	6·11	4·89	22	30	24
20	6·67	5·33	23	30·55	24·44
19	7·22	5·78	24	31·11	24·89
18	7·78	6·22	25	31·67	25·33
17	8·33	6·67	26	32·22	25·78
16	8·89	7·11	27	32·78	26·22
15	9·44	7·56	28	33·33	26·67
14	10	8	29	33·89	27·11
13	10·55	8·44	30	34·44	27·56
12	11·11	8·89	31	35	28
11	11·67	9·33	32	35·55	28·44
10	12·29	9·78	33	36·11	28·89
9	12·78	10·22	34	36·67	29·33
8	13·33	10·67	35	37·22	29·78
7	13·89	11·11	36	37·78	30·22
6	14·44	11·56	37	38·33	30·67
5	15	12	38	38·89	31·11
4	15·55	12·44	39	39·44	31·56
3	16·11	12·89	40	40	32
2	16·67	13·33			

Tafel LXX. Umwandlung von Graden Fahrenheit über 100° in Grade Celsius.

Für Temperaturen über 100° F. zerlegt man die Zahl in Hunderte und einen Rest. Die Grade C., welche dem Reste entsprechen, findet man in der vorigen Tabelle. Die den Hunderten der Grade Fahrenheit entsprechenden Grade Celsius sind in folgenden Tabellen angegeben.

Fahrenheit	Celsius	Fahrenheit	Celsius
100	55·56	1900	1055·56
200	111·11	2000	1111·11
300	166·67	2100	1166·67
400	222·22	2200	1222·22
500	277·78	2300	1277·78
600	333·33	2400	1333·33
700	388·89	2500	1388·89
800	444·44	2600	1444·44
900	500·00	2700	1500·00
1000	555·56	2800	1555·55
1100	611·11	2900	1611·11
1200	666·67	3000	1666·67
1300	722·22	3100	1722·22
1400	777·78	3200	1777·78
1500	833·33	3300	1833·33
1600	888·89	3400	1888·89
1700	944·44	3500	1944·44
1800	1000·00	3600	2000·00

Tafel LXXI.

Thermometercorrectur wegen des herausragenden Fadens nach T. E. Thorpe.

Die Correctur erfolgt nach der Gleichung: $T = t + 0 \cdot 000143\, n\, (t - t_1)$, worin:

T = corrigirte Temperatur.

t = beobachteter Thermometerstand.

t_1 = mittlere Temperatur des herausragenden Quecksilberfadens.

n = Länge des herausragenden Fadens in Graden des Thermometers.

0·000143 ist ein empirischer Coëfficient, welcher sich dem scheinbaren Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers in Glas (0·000154) nähert.

n	Werthe für 0·000143 n (t — t_1)											
	t — t_1											
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
10°	0·01	0·03	0·04	0·06	0·07	0·09	0·10	0·11	0·13	0·14	0·16	0·17
20°	0·03	0·06	0·09	0·11	0·14	0·17	0·20	0·23	0·26	0·29	0·31	0·34
30°	0·04	0·09	0·13	0·17	0·21	0·26	0·30	0·34	0·39	0·43	0·47	0·51
40°	0·06	0·11	0·17	0·23	0·29	0·34	0·40	0·46	0·51	0·57	0·63	0·69
50°	0·07	0·14	0·21	0·29	0·36	0·43	0·50	0·57	0·64	0·72	0·79	0·86
60°	0·09	0·17	0·26	0·34	0·43	0·51	0·60	0·69	0·77	0·86	0·94	1·03
70°	0·10	0·20	0·30	0·40	0·50	0·60	0·70	0·80	0·90	1·00	1·10	1·20

Werthe für 0·000143 n (t — t_1)												
n	t — t_1											
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
80°	0·11	0·23	0·34	0·46	0·57	0·69	0·80	0·92	1·03	1·14	1·26	1·37
90°	0·13	0·26	0·39	0·51	0·64	0·77	0·90	1·03	1·16	1·29	1·42	1·54
100°	0·14	0·29	0·43	0·57	0·72	0·86	1·00	1·14	1·29	1·43	1·57	1·72
110°	0·16	0·31	0·47	0·63	0·79	0·94	1·10	1·26	1·42	1·57	1·73	1·89
120°	0·17	0·34	0·51	0·69	0·86	1·03	1·20	1·37	1·54	1·72	1·89	2·06
130°	0·19	0·37	0·56	0·74	0·93	1·12	1·30	1·49	1·67	1·86	2·04	2·23
140°	0·20	0·40	0·60	0·80	1·00	1·20	1·40	1·60	1·80	2·00	2·20	2·40
150°	0·21	0·43	0·64	0·86	1·07	1·29	1·50	1·72	1·93	2·15	2·36	2·57
160°	0·23	0·46	0·69	0·92	1·14	1·37	1·60	1·83	2·06	2·29	2·52	2·75
170°	0·24	0·49	0·73	0·97	1·22	1·46	1·70	1·94	2·19	2·43	2·67	2·92
180°	0·26	0·51	0·77	1·03	1·29	1·54	1·80	2·06	2·32	2·57	2·83	3·09
190°	0·27	0·54	0·82	1·09	1·36	1·63	1·90	2·17	2·45	2·72	2·99	3·26
200°	0·29	0·57	0·86	1·14	1·43	1·72	2·00	2·29	2·57	2·86	3·15	3·43

Tafel LXXII. Vergleichung des Quecksilberthermometers mit dem Luftthermometer

(nach Landolt und Börnstein „physikalisch-chemische Tabellen").

Zu den am Quecksilberthermometer abgelesenen Temperaturen ist die in der Tabelle enthaltene Correction hinzuzufügen:

Reduction auf Luftthermometer für **Quecksilberthermometer aus thüringischem Glase** (neuere Zusammensetzung) Nach **Grunmach**, Metronomische Beiträge, herausgegeben von der k. Normal-Aichungs-Commission, Nr. 3, p. 54, 1881.		**Reduction auf Wasserstoffthermometer** für A) Thermometer von Régnault aus Krystallglas von Choisy-le Roy, etwa 34% Bleioxyd enthaltend, B) Thermometer von Régnault „en verre ordinaire". C) Mittel aus 15 Thermometern (von Crafts beobachtet), nämlich je 7 von Baudin und von Alvergniat mit etwa 18% Bleioxyd und einem vom Müller in Bonn aus deutschem Natronglas. Nach Crafts, Compt. rend. Bd. 95, p. 836, 1882.			
Quecksilber-Thermometer	Correction	Quecksilber-Thermometer	A	B	C
—20°	+0·03	110°	—0·05	+0·02	+0·02
—15°	+0·02	120	—0·12	+0·04	+0·05
—10°	+0·02	130	—0·20	+0·09	+0·09
— 5°	+0·01	140	—0·29	+0·16	+0·15
0°	+0·00	150	—0·40	+0·25	+0 20
5°	—0·01	160	—0·52	+0·33	+0·26
10°	—0·03	170	—0·65	+0·35	+0·32
15°	—0·07	180	—0·80	+0·34	+0·37
20°	—0·11	190	—1·01	+0·32	+0·35
25°	—0·12	200	—1·25	+0·27	+0·30
30°	—0·12	210	—1·53	+0·18	+0·25
35°	—0·10	220	—1·82	+0·08	+0·20
40°	—0·08	230	—2·16	—0·02	+0·15
54°	—0·04	240	—2·55	—0·14	+0·10
73°	—0·06	250	—3·00	—0·26	—0·05
82°	+0·04	260	—3·44	—0·39	—0·20

Quecksilber-Thermometer	Correction	Quecksilber-Thermometer	A	B	C
—	—	270°	—3·90	—0·50	—0·38
—	—	280	—4·48	—0·63	—0·52
—	—	290	—5·10	—0·88	—0·80
—	—	300	—5·72	—1·21	—1·08
—	—	310	—6·45	—1·60	—1·45
—	—	320	—7·25	—2·08	—1·80
—	—	330	—8·22	—2·48	—2·40

Tafel LXXIII. Vergleichung der Ablesungen an Quecksilberthermometern und am Luftthermometer.

(Die Unterschiede zwischen diesen älteren Zahlen und jenen Crafts rühren nach letzterem daher, daß man heute andere Glassorten zur Anfertigung der Thermometer verwendet, als früher.)

Quecksilber-thermometer	Luftthermometer: wenn das Quecksilberthermometer aus Krystallglas mit 34% Bleioxyd besteht	Luftthermometer: wenn das Quecksilberthermometer aus gewöhnlichem Natronglase besteht	Quecksilber-thermometer	Luftthermometer: wenn das Quecksilberthermometer aus Krystallglas mit 34% Bleioxyd besteht	Luftthermometer: wenn das Quecksilberthermometer aus gewöhnlichem Natronglase besteht
100°	100	100	230	227·91	230·45
110	109·95	110·02	240	237·55	240·40
120	119·88	120·05	250	247·13	249·95
130	129·80	130·09	260	256·71	259·80
140	139·73	140·15	270	266·27	269·68
150	149·60	150·20	280	275·77	279·49
160	159·49	160·26	290	285·20	289·22
170	169·36	172·32	300	294·61	298·95
180	179·21	180·37	310	303·99	318·60
190	189·01	190·37	320	313·29	308·26
200	198·78	200·30	330	322·51	327·74
210	208·51	210·25	340	331·61	337·17
220	218·23	220·20	350	340·62	346·35

Tafel LXXIV. — Calorimetrische Temperaturmessungen.

Tabelle zur Berechnung der von der Eisenmasse abgegebenen Wärmemenge auf 1 *kg* Eisen.

Gramme Eisen	Calorien								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50·0	20·00	40·00	60·00	80·00	100·00	120·00	140·00	160·00	180·00
2	19·92	39·84	59·76	79·68	99·60	119·52	139·44	159·36	179·28
4	19·84	39·68	59·52	79·37	99·21	119·05	138·89	158·73	178·57
6	19·76	39·53	59·29	79·05	98·81	118·58	138·34	158·10	177·87
8	19·69	39·37	59·06	78·74	98·43	118·11	137·80	157·48	177·17
51·0	19·61	39·22	58·82	78·43	98·04	117·65	137·25	156·86	176·47
2	19·53	39·06	58.59	78·13	97·66	117·19	136·72	156·25	175·78
4	19·46	38·91	58·37	77·82	97·28	116·73	136·19	155·64	175·10
6	19·38	38·76	58·14	77·52	96·90	116·28	135·66	155·04	174·42
8	19·31	38·61	57·92	77·22	96·53	115·83	135·14	154·44	173·75
52·0	19·23	38·46	57·69	76·92	96·15	115·38	134·62	153·85	173·08
2	19·16	38·31	57·47	76·63	95·79	114·94	134·10	153·26	172·41
4	19·08	38·17	57·25	76·34	95·42	114·50	133·59	152·67	171·76
6	19·01	38·02	57·03	76·05	95·06	114·07	133·08	152·09	171·10
8	18·94	37·88	56·82	75·76	94·70	113·64	132·58	151·52	170·45
53·0	18·87	37·74	56·60	75·47	94·34	113·21	132·08	150·94	169·81
2	18·80	37·59	56·39	75·19	93·98	112·78	131·58	150·38	169·17
4	18·73	37·45	56·18	74·91	93·63	112·36	131·09	149·81	168·54
6	18·66	37·31	55·97	74·63	93·28	111·94	130·60	149·25	167·91
8	18·59	37·17	55·76	74·35	92·94	111·52	130·11	148·70	167·29
54·0	18·52	37·04	55·56	74·07	92·59	111·11	129·63	148·15	166·67
2	18·45	36·90	55·35	73·80	92·25	110·70	129·15	147·60	166·05
4	18·38	36·76	55·15	73·53	91·91	110·29	128·68	147·06	165·44
6	18·32	36·63	54·95	73·26	91·58	109·89	128·21	146·52	164·84
8	18·25	36·50	54·74	72·99	91·24	109·49	127·74	145·99	164·23
55·0	18·18	36·36	54·55	72·73	90·91	109·09	127·27	145·45	163·64
2	18·12	36·23	54·35	72·46	90·58	108·70	126·81	144·93	163·04
4	18·05	36·10	54·15	72·20	90·25	108·30	126·35	144·40	162·45
6	17·99	35·97	53·96	71·94	89·93	107·91	125·90	143·88	161·87
8	17·92	35·84	53·76	71·68	89·61	107·53	125·45	143·37	161·29
56·0	17·86	35·71	53·57	71·43	89·29	107·14	125·00	142·86	160·71
2	17·79	35·59	53·38	71·17	88·97	106·76	124·56	142·35	160·14
4	17·73	35·46	53·19	70·92	88·65	106·38	124·11	141·84	159·87
6	17·67	35·34	53·00	70·67	88·34	106·01	123·67	141·34	159·01
8	17·61	35·21	52·82	70·42	88·03	105·63	123·24	140·85	158·45
57·0	17·54	35·09	52·63	70·18	87·72	105·26	122·81	140·35	157·89
2	17·48	34·97	52·45	69·93	87·41	104·90	122·38	139·86	157·34
4	17·42	34·84	52·26	69·69	87·11	104·53	121·95	139·37	156·79
6	17·36	34·72	52·08	69·44	86·81	104·17	121·53	138·89	156·25

Gramme Eisen	Calorien								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	17·30	34·60	51·90	69·20	86·51	103·81	121·11	138·41	155·71
58·0	17·24	34·48	51·72	68·97	86·21	103·45	120·69	137·93	155·17
2	17·18	34·36	51·55	68·73	85·91	103·09	120·27	137·46	154·64
4	17·12	34·25	51·37	68·49	85·62	102·74	119·86	136·99	154·11
6	17·06	34·13	51·19	68·26	85·32	102·39	119·45	136·52	153·58
8	17·01	34·01	51·02	68·03	85·03	102·04	119·05	136·05	153·06
59·0	16·95	33·90	50·85	67·80	84·75	101·69	118·64	135·59	152·54
2	16·89	33·78	50·68	67·57	84·46	101·35	118·24	135·14	152·03
4	16·84	33·67	50·51	67·34	84·18	101·01	117·85	134·68	151·52
6	16·78	33·56	50·34	67·11	83·89	100·67	117·45	134·23	151·01
8	16·72	33·44	50·17	66·89	83·61	100·33	117·06	133·78	150·50
60·0	16·67	33·33	50·00	66·67	83·33	100·00	116·67	133·33	150·00
2	16·61	33·22	49·83	66·45	83·06	99·67	116·28	132·89	149·50
4	16·56	33·11	49·67	66·23	82·78	99·34	115·89	132·45	149·01
6	16·50	33·00	49·50	66·01	82·51	99·01	115·51	132·01	148·51
8	16·45	32·89	49·34	65·79	82·24	98·68	115·13	131·58	148·03
61·0	16·39	32·79	49·18	65·57	81·97	98·36	114·75	131·15	147·54
2	16·34	32·68	49·02	65·36	81·70	98·04	114·38	130·72	147·06
4	16·29	32·57	48·86	65·15	81·43	97·72	114·01	130·29	146·58
6	16·23	32·47	48·70	64·94	81·17	97·40	113·64	129·87	146·10
8	16·18	32·36	48·54	64·72	80·91	97·09	113·27	129·45	145·63
62·0	16·13	32·26	48·39	64·52	80·65	96·77	112·90	129·03	145·16
2	16·08	32·15	48·23	64·31	80·39	96·46	112·54	128·62	144·69
4	16·03	32·05	48·08	64·10	80·13	96·15	112·18	128·21	144·23
6	15·97	31·95	47·92	63·90	79·87	95·85	111·82	127·80	143·77
8	15·92	31·85	47·77	63·69	79·62	95·54	111·46	127·39	143·31
63·0	15·87	31·75	47·62	63·49	79·37	95·24	111·11	126·98	142·86
2	15·82	31·65	47·47	63·29	79·11	94·94	110·76	126·58	142·41
4	15·77	31·55	47·32	63·09	78·86	94·64	110·41	126·18	141·96
6	15·72	31·45	47·17	62·89	78·62	94·34	110·06	125·79	141·51
8	15·67	31·35	47·02	62·70	78·37	94·04	109·72	125·39	141·07
64·0	15·63	31·25	46·88	62·50	78·13	93·75	109·38	125·00	140·63
2	15·58	31·15	46·73	62·31	77·88	93·46	109·03	124·61	140·19
4	15·53	31·06	46·58	62·11	77·64	93·17	108·70	124·22	139·75
6	15·48	30·96	46·44	61·92	77·40	92·88	108·36	123·84	139·32
8	15·43	30·86	46·30	61·73	77·16	92·59	108·02	123·46	138·89
65·0	15·38	30·77	46·15	61·54	76·92	92·31	107·69	123·08	138·40
2	15·34	30·67	46·01	61·35	76·69	92·02	107·36	122·70	138·04
4	15·29	30·58	45·87	61·16	76·45	91·74	107·03	122·32	137·61
6	15·24	30·49	45·73	60·96	76·22	91·46	106·71	121·95	137·20
8	15·20	30·40	45·59	60·79	75·99	91·19	106·38	121·58	136·78
66·0	15·15	30·30	45·45	60·61	75·76	90·91	106·06	121·21	136·36
2	15·11	30·21	45·32	60·42	75·53	90·68	105·74	120·85	135·95

Gramme Eisen	Calorien								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	15·06	30·12	45·18	60·24	75·30	90·36	105·42	120·48	135·54
6	15·02	30·03	45·05	60·06	75·08	90·09	105·11	120·12	135·14
8	14·97	29·94	44·91	59·88	74·84	89·82	104·79	119·76	134·73
67·0	14·93	29·85	44·78	59·70	74·63	89·55	104·48	119·40	134·33
2	14·88	29·76	44·64	59·52	74·40	89·29	104·17	119·05	133·93
4	14·84	29·67	44·51	59·35	74·18	89·02	103·86	118·69	133·53
6	14·79	29·59	44·38	59·17	73·96	88·76	103·55	118·34	133·14
8	14·75	29·50	44·25	59·00	73·75	88·50	103·24	117·99	132·74
68·0	14·71	29·41	44·12	58·82	73·53	88·24	102·94	117·65	132·35
2	14·66	29·33	43·99	58·65	73·31	87·98	102·64	117·30	131·96
4	14·62	29·24	43·86	58·48	73·10	87·72	102·34	116·96	131·58
6	14·58	29·15	43·73	58·31	72·89	87·46	102·04	116·62	131·20
8	14·53	29·07	43·60	58·14	72·67	87·21	101·74	116·28	130·81
69·0	14·49	28·99	43·48	57·97	72·46	86·96	101·45	115·94	130·43
2	14·45	28·90	43·35	57·80	72·25	86·71	101·16	115·61	130·06
4	14·41	28·82	43·23	57·64	72·05	86·46	100·86	115·27	129·68
6	14·37	28·74	43·10	57·47	71·84	86·21	100·57	114·94	129·31
8	14·33	28·65	42·98	57·31	71·63	85·96	100·29	114·61	128·94
70·0	14·29	28·57	42·86	57·14	71·43	85·71	100·00	114·29	128·57
2	14·25	28·49	42·74	56·98	71·23	85·47	99·72	113·96	128·21
4	14·20	28·41	42·61	56·82	71·02	85·23	99·43	113·64	127·84
6	14·16	28·33	42·49	56·66	70·82	84·99	99·15	113·31	127·48
8	14·12	28·25	42·37	56·50	70·62	84·75	98·87	112·99	127·12
71·0	14·08	28·17	42·25	56·34	70·42	84·51	98·59	112·68	126·76
2	14·04	28·09	42·13	56·18	70·22	84·27	98·31	112·36	126·40
4	14·01	28·01	42·02	56·02	70·03	84·03	98·04	112·04	126·05
6	13·97	27·93	41·90	55·87	69·83	83·80	97·77	111·73	125·70
8	13·93	27·86	41·78	55·71	69·64	83·57	97·49	111·42	125·35
72·0	13·89	27·78	41·67	55·56	69·44	83·33	97·22	111·11	125·00
2	13·85	27·70	41·55	55·40	69·25	83·10	96·95	110·80	124·65
4	13·81	27·62	41·44	55·25	69·06	82·87	96·69	110·50	124·31
6	13·77	27·55	41·32	55·10	68·87	82·64	96·42	110·19	123·97
8	13·74	27·47	41·21	54·95	68·68	82·42	96·15	109·89	123·63
73·0	13·70	27·40	41·10	54·79	68·49	82·19	95·89	109·59	123·29
2	13·66	27·32	40 98	54·64	68·31	81·97	95·63	109·29	122·95
4	13·62	27·25	40·87	54·50	68·12	81·74	95·37	108·99	122·62
6	13·59	27·17	40·76	54·35	67·93	81·52	95·11	108·70	122·28
8	13·55	27·10	40·65	54·20	67·75	81·30	94·85	108·40	121·95
74·0	13·51	27·03	40·54	54·05	67·57	81·08	94·59	108·11	121·62
2	13·48	26·95	40·43	53·91	67·39	80·86	94·34	107·82	121·29
4	13·44	26·88	40·32	53·76	67·20	80·65	94·09	107·53	120·97
6	13·40	26·81	40·21	53·62	67·02	80·43	93·83	107·24	120·64
8	13·37	26·74	40·11	53·48	66·84	80·21	93·58	106·95	120·32



Gramme Eisen	Calorien								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75·0	13·33	26·67	40·00	53·33	66·67	80·00	93·33	106·67	120·00
2	13·30	26·60	39·89	53·19	66·49	79·79	93·09	106·38	119·68
4	13·26	26·53	39·79	53·05	66·31	79·58	92·84	106·10	119·36
6	13·23	26·46	39·68	52·91	66·14	79·37	92·59	105·82	119·05
8	13·19	26·39	39·58	52·77	65·96	79·16	92·35	105·54	118·73
76·0	13·16	26·32	39·47	52·63	65·79	78·95	92·11	105·26	118·42
2	13·12	26·25	39·37	52·49	65·62	78·74	91·86	104·99	118·11
4	13·09	26·18	39·27	52·36	65·45	78·53	91·62	104·71	117·80
6	13·05	26·11	39·16	52·22	65·27	78·33	91·38	104·44	117·49
8	13·02	26·04	39·06	52·08	65·10	78·12	91·15	104·17	117·19
77·0	12·99	25·97	38·96	51·95	64·94	77·92	90·91	103·90	116·88
2	12·95	25·91	38·86	51·81	64·77	77·72	90·67	103·63	116·58
4	12·92	25·84	38·76	51·68	64·60	77·52	90·44	103·36	116·28
6	12·89	25·77	38·66	51·55	64·43	77·32	90·21	103·09	115·98
8	12·85	25·71	38·56	51·41	64·27	77·12	89·97	102·83	115·68
78·0	12·82	25·64	38·46	51·28	64·10	76·92	89·74	102·56	115·38
2	12·79	25·58	38·36	51·15	63·94	76·73	89·51	102·30	115·09
4	12·76	25·51	38·27	51·02	63·78	76·53	89·29	102·04	114·80
6	12·72	25·45	38·17	50·89	63·61	76·34	89·06	101·78	114·50
8	12·69	25·38	38·07	50·76	63·45	76·14	88·83	101·52	114·21
79·0	12·66	25·32	37·97	50·63	63·29	75·95	88·61	101·27	113·92
2	12·63	25·25	37·88	50·51	63·13	75·76	88·38	101·01	113·64
4	12·59	25·19	37·78	50·38	62·97	75·57	88·16	100·76	113·35
6	12·56	25·13	37·69	50·25	62·81	75·38	87·94	100·50	113·07
8	12·53	25·06	37·59	50·13	62·66	75·19	87·72	100·23	112·78
80·0	12·50	25·00	37·50	50·00	62·50	75·00	87·50	100·00	112·50

Tafel LXXV. Calorimetrische Temperaturmessungen.

Wärmemengen zur Erwärmung eines Kilogrammes Eisen von 0° auf T° C.

T	Calorien	T	Calorien	T	Calorien	T	Calorien
10	1·06	309	36·50	349	41·89	389	47·45
11	1·17	310	36·63	350	42·02	390	47·59
12	1·28	311	36·77	351	42·16	391	67·78
13	1·38	312	36.90	352	42·30	392	47·87
14	1·49	313	37·03	353	4 ·43	393	48·02
15	1·60	314	37·16	354	42·57	394	48·16
16	1·70	315	37·30	355	42·71	395	48·30
17	1·81	316	37·43	356	42·85	396	48·44
18	1·92	317	37·56	357	42·98	397	48·58
19	2·02	318	37·70	358	43·12	398	48·73
20	2·13	319	37·83	359	43·26	399	48·87
21	2·24	320	37·96	360	43·40	400	49·01
22	2·35	321	38·10	361	43·54	401	49·15
23	2·45	322	38·23	362	43·67	402	49·30
24	2·56	323	38·37	363	43·81	403	49·44
25	2·67	324	38·50	364	43·95	404	49·58
26	2·78	325	38·63	365	44·09	405	49·73
27	2·88	326	38·77	366	44·23	406	49·87
28	2·99	327	38·90	367	44·37	407	50·01
29	3·10	328	39·04	368	44·51	408	50·16
30	3·21	329	39·17	369	44·64	409	50·30
31	3·32	330	39·31	370	44·78	410	50·44
32	3·42	331	39·44	371	44·92	411	50·59
33	3·53	332	39·57	372	45·06	412	50·73
34	3·64	333	39·71	373	45·20	413	50·88
35	3·75	334	39·85	374	45·34	414	51·02
36	3·86	335	39·98	375	45·48	415	51·17
37	3·96	336	40·12	376	45·62	416	51·31
38	4·07	337	40·25	377	45·76	417	51·45
39	4·18	338	40·39	378	45·90	418	51·60
40	4·29	339	40·52	379	46·04	419	51·74
300	35·31	340	40·66	380	46·18	420	51·89
301	35·44	341	40·79	381	46·32	421	52·03
302	35·58	342	40·93	382	46·46	422	52·18
303	35·71	343	41·07	383	46·60	423	52·33
304	35·84	344	41·20	384	46·74	424	52·47
305	35·97	345	41·34	385	46·88	425	52·62
306	36·10	346	41·48	386	47·03	426	52·76
307	36·24	347	41·61	387	47·17	427	52·91
308	36·37	348	41·75	388	47·31	428	53·05

T	Calorien	T	Calorien	T	Calorien	T	Calorien
429	53·20	472	59·60	570	75·09	785	114·00
430	53·35	473	59·75	575	75·92	790	114·99
431	53·49	474	59·90	580	76·75	795	115·99
432	53·64	475	60·06	585	77·58	800	116·99
433	53·79	476	60·21	590	78·42	805	118·00
434	53·93	477	60·36	595	79·26	810	119·01
435	54·08	478	60·51	600	80·10	815	120·02
436	54·23	479	60·67	605	80·95	820	121·04
437	54·37	480	60·82	610	81·80	825	122·07
438	54·52	481	60·97	615	82·65	830	123·09
439	54·67	482	61·12	620	83·51	835	124·13
440	54·82	483	61·28	625	84·37	840	125·16
441	54·96	484	61·43	630	85·24	845	126·20
442	55·11	485	61·58	635	86·11	850	127·25
443	55·26	486	61·74	640	86·98	855	128·30
444	55·41	487	61·89	645	87·86	860	129·35
445	55·55	488	62·04	650	88·74	865	130·41
446	55·70	489	62·20	655	89·62	870	131·47
447	55·85	490	62·35	660	90·51	875	132·54
448	56·00	491	62·50	665	91·40	880	133·61
449	56·15	492	62·66	670	92·30	885	134·69
450	56·30	493	62·81	675	93·20	890	135·77
451	56·45	494	62·97	680	94·10	895	136·86
452	56·60	495	63·12	685	95·01	900	137·95
453	56·74	496	63·28	690	95·92	905	139·04
454	56·89	497	63·43	695	96·83	910	140·14
455	57·04	498	63·59	700	97·75	915	141·25
456	57·19	499	63·74	705	98·68	920	142·36
457	57·34	500	63·90	710	99·60	925	143·47
458	57·49			715	100·54	930	144·59
459	57·64	505	64·67	720	101·47	935	145·71
460	57·79	510	65·45	725	102·41	940	146·84
461	57·94	515	66·24	730	103·35	945	147·98
462	58·09	520	67·03	735	104·30	950	149·11
463	58·24	525	67·82	740	105·25	955	150·26
464	58·39	530	68·61	745	106·21	960	151·40
465	58·54	535	69·41	750	107·17	965	152·55
466	58·69	540	70·21	755	108·13	970	153·71
467	58·84	545	71·02	760	109·10	975	154·87
468	59·00	550	71·82	765	110·07	980	156·04
469	59·15	555	72·64	770	111·05	985	157·21
470	59·30	560	73·45	775	112·03	990	158·39
471	59·45	565	74·27	780	113·01	950	159·57

T	Calorien	T	Calorien	T	Calorien	T	Calorien
1000	160·76	1060	175·38	1120	190·76	1180	206·90
1010	163·14	1070	177·89	1130	193·39	1190	209·66
1020	165·55	1080	180·42	1140	196·05	1200	212·45
1030	167·98	1090	182·97	1150	198·73		
1040	170·43	1100	185·55	1160	201·43		
1050	172·89	1110	188·14	1170	204·15		

Tafel LXXVI. Psychrometertabelle

zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes von 1 m^3 Luft in Grammen.

Luft-temperatur ° C.	Differenz des trockenen und des befeuchteten Thermometers in ° C.											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
—20	1·5	0·8	0·1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—19	1·6	0·9	0·2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—18	1·8	1·0	0·3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—17	1·9	1·1	0·4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—16	2·0	1·2	0·5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—15	2·1	1·4	0·6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—14	2·3	1·5	0·8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—13	2·4	1·6	0·9	0·1	—	—	—	—	—	—	—	—
—12	2·6	1·8	1·0	0·3	—	—	—	—	—	—	—	—
—11	2·7	2·0	1·2	0·4	—	—	—	—	—	—	—	—
—10	2·9	2·1	1·3	0·6	—	—	—	—	—	—	—	—
— 9	3·1	2·3	1·5	0·7	—	—	—	—	—	—	—	—
— 8	3·3	2·5	1·7	0·9	0·1	—	—	—	—	—	—	—
— 7	3·5	2·7	1·9	1·1	0·3	—	—	—	—	—	—	—
— 6	3·7	2·9	2·1	1·3	0·5	—	—	—	—	—	—	—
— 5	4·0	3·1	2·3	1·5	0·7	—	—	—	—	—	—	—
— 4	4·2	3·4	2·5	1·7	0·9	0·1	—	—	—	—	—	—
— 3	4·5	3·6	2·8	1·9	1·1	0·3	—	—	—	—	—	—
— 2	4·8	3·9	3·0	2·2	1·4	0·5	—	—	—	—	—	—
— 1	5·1	4·2	3·3	2·4	1·6	0·8	—	—	—	—	—	—
0	5·4	4·5	3·6	2·7	1·9	1·0	0·2	—	—	—	—	—
+ 1	5·7	4·7	3·8	2·9	2·1	1·2	0·4	—	—	—	—	—
2	6·1	5·1	4·1	3·2	2·3	1·4	0·5	—	—	—	—	—
3	6·5	5·4	4·4	3·4	2·5	1·6	0·7	—	—	—	—	—

Luft-temperatur ° C.	Differenz des trockenen und des befeuchteten Thermometers in ° C.												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
+ 4	6·9	5·8	4·8	3·7	2·7	1·8	1·0	—	—	—	—	—	—
5	7·3	6·2	5·1	4·1	3·1	2·1	1·2	0·3	—	—	—	—	—
6	7·7	6·6	5·5	4·5	3·4	2·4	1·4	0·5	—	—	—	—	—
7	8·2	7·0	5·9	4·9	3·8	2·8	1·8	0·8	—	—	—	—	—
8	8·7	7·5	6·4	5·3	4·2	3·2	2·1	1·1	0·2	—	—	—	—
9	9·2	8·0	6·9	5·7	4·6	3·6	2·5	1·5	0·5	—	—	—	—
10	9·7	8·5	7·3	6·2	5·1	4·0	2·9	1·9	0·9	—	—	—	—
11	10·3	9·1	7·9	6·7	5·6	4·4	3·3	2·8	1·2	0·2	—	—	—
12	10·9	9·7	8·4	7·2	6·0	4·9	3·8	2·7	1·7	0·6	—	—	—
13	11·6	10·3	9·0	7·8	6·6	5·4	4·3	3·1	2·1	1·0	—	—	—
14	12·2	10·9	9·6	8·3	7·1	5·9	4·8	3·6	2·5	1·4	0·4	—	—
15	13·0	11·6	10·3	9·0	7·7	6·5	5·3	4·1	3·0	1·9	0·8	—	—
16	13·7	12·3	10·9	9·6	8·3	7·0	5·8	4·6	3·5	2·4	1·3	0·2	—
17	14·5	13·1	11·6	10·3	9·0	7·7	6·4	5·2	4·0	2·9	1·7	0·7	—
18	15·3	13·8	12 4	11·0	9·6	8·3	7·0	5·8	4·6	3·4	2·2	1·1	—
19	16·2	14·7	13·2	11·7	10·3	9·0	7·7	6·4	5·1	3·9	2·8	1·6	—
20	17·1	15·5	14·0	12·5	11·1	9·7	8·3	7·0	5·8	4·5	3·3	2·2	—
21	18·1	16·5	14·9	13·4	11·9	10·5	9·1	7·7	6·4	5·1	3·9	2·7	—
22	19·1	17·4	15·8	14·2	12·7	11·2	9·8	8·4	7·1	5·8	4·5	3·3	—
23	20·2	18·5	16·8	15·2	13·6	12·1	10·6	9·2	7·8	6·4	5·2	3·9	2·5
24	21·3	19·5	17·8	16·1	14·5	12·9	11·4	10·0	8·5	7·2	5·8	4·5	3·1
25	22·5	20·6	18·9	17·1	15·5	13·8	12·3	10·8	9·3	7·9	6·5	5·2	3·9
26	23·8	21·8	20·0	18·2	16·5	14·8	13·2	11·6	10·1	8·7	7·3	5·9	4·6
27	25·1	23·1	21·2	19·3	17·5	15·8	14·2	12·6	11·0	9·5	8·1	6·7	5·3
28	26·4	24·4	22·4	20·5	18·7	16·9	15·2	13·5	11·9	10·4	8·9	7·5	6·1
29	27·9	25·8	23·7	21·7	19·8	18·0	16·3	14·6	12·9	11·3	9·8	8·3	6·8
30	29·4	27·2	25·1	23·0	21·1	19·2	17·4	15·6	13·9	12·3	10·7	9·1	7·7
31	31·0	28·7	26·5	24·4	22·4	20·4	18·5	16·7	15·0	13·3	11·6	10·1	8·5
32	32·6	30·3	28·0	25·8	23·8	21·7	19·8	17·9	16·1	14·3	12·7	11·0	9·4
33	34·4	31·9	29·0	27·3	25·2	23·1	21·1	19·1	17·3	15·4	13·7	12·0	10·4
34	36·2	33·7	31·2	28·9	26·7	24·5	22·4	20·4	18·5	16·6	14·8	13·1	11·4
35	38·1	35·5	33·0	30·6	28·2	26·0	23·8	21·8	19·8	17·8	16·0	14·2	12·5

Tafel LXXVII. Ueber den Wassergehalt von 1 Kubikmeter mit Wasserdampf gesättigter Luft.

Temperatur ° C.	Gramme Wasserdampf per 1 m^3 Luft	Temperatur ° C.	Gramme Wasserdampf per 1 m^3 Luft
—20	1·5	+16	13·7
—15	2·1	17	14·5
—10	2·9	18	15·3
— 5	4·0	19	16·2
0	5·4	20	17·1
+ 1	5·7	21	18·1
2	6·1	22	19·1
3	6·5	23	20·2
4	6·9	24	21·3
5	7·3	25	22·5
6	7·7	26	23·8
7	8·2	27	25·1
8	8·7	28	26·4
9	9·2	29	27·9
10	9·7	30	29·4
11	10·3	31	31·0
12	10·9	32	32·6
13	11·6	33	34·4
14	12·2	34	36·2
15	13·0	35	38·1

Sach- und Namens-Register.

Alphabetisches Register der Tabellen.

